



# NEOCONCRETE

## PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN EN PATRIMONIO CONSTRUIDO DE HORMIGÓN ARMADO

Laura Ramallo Aznar

Dirigido por : Gonzalo Barluenga Badiola e Irene Palomar Herrero

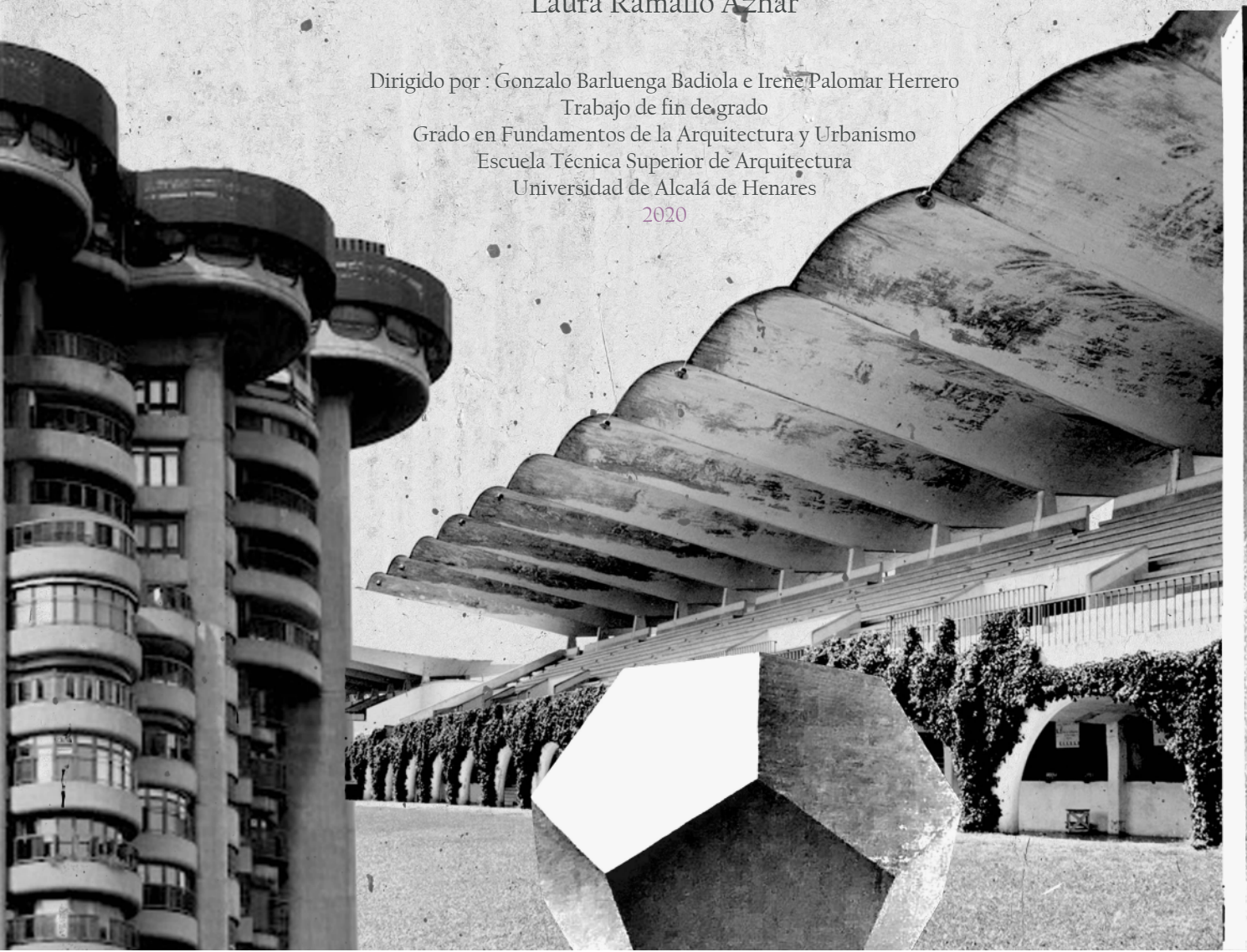
Trabajo de fin de grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura y Urbanismo

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad de Alcalá de Henares

2020





Laura Ramallo Aznar

Expediente 746

Dirigido por : Gonzalo Barluenga Badiola e Irene Palomar Herrero

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad de Alcalá de Henares



# NEOCONCRETE

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN EN PATRIMONIO  
CONSTRUIDO DE HORMIGÓN ARMADO





# ÍNDICE



ANTECEDENTES .....	p. 7
OBJETIVOS .....	p. 12
METODOLOGÍA .....	p. 13
1. PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....	p. 14
2. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO .....	p. 40
3. PRINCIPALES TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN .....	p. 50
4. PROPUESTA DE PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN .....	p. 70
5. ESTUDIO DE CASOS .....	p. 76
HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA .....	p. 80
Ficha	
Intervenciones	
MERCADO DE ABASTOS .....	p. 88
Ficha	
Intervenciones	
TORRES BLANCAS .....	p. 94
Ficha	
Intervenciones	
CONCLUSIONES .....	p. 102
REFERENCIAS .....	p. 104





Fig. 0.0. Fisura en estructura de hormigón armado

## ANTECEDENTES



El hormigón armado se trata de un material heterogéneo compuesto por cemento, agua, áridos, aditivos y acero. Se ha empleado en las últimas décadas hasta configurarse como un elemento característico en la arquitectura del Movimiento Moderno. Así, se ha convertido en una señal que define a la arquitectura del siglo xx, una íntimamente ligada con la construcción en altura.

Se entiende por patrimonio cultural del siglo xx al “conjunto de bienes muebles e inmuebles, creaciones artísticas y sistemas de sociabilidad que se enmarcan cronológicamente entre 1901 y 2000, y que se reconocen como manifestaciones del progreso en la ciencia, la política, la economía, la cultura y la sociedad del pasado siglo, en su contenido, su técnica y su materialidad. Su conservación y preservación contribuye a la comprensión de la historia, los avances tecnológicos y sociales, así como otros fenómenos producidos en este espacio de tiempo.”<sup>1</sup>

La diversidad y la complejidad, junto con la cercanía temporal son tres aspectos que definen concretamente a este patrimonio, desencadenando así una abundante variedad por su condición heterogénea y su habilidad para trascender. Este tipo de patrimonio está profundamente ligado al concepto de progreso y a la obsolescencia, a la sociedad de consumo, y si bien varía de un país a otro, este trabajo se centra en aquellos bienes culturales dentro del territorio del Estado español.

Debido a lo anterior se vio necesario el crear un Plan Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del Siglo xx, finalmente creado en junio de 2010 en la ciudad de Alcalá de Henares por el Consejo de Patrimonio. Este se orientó hacia tres disciplinas: la arquitectura, el urbanismo y la ingeniería civil; las artes plásticas; y los registros fotográficos, audiovisuales y sonoros.

Es por el motivo descrito en los párrafos anteriores por el que a través de la sociedad y su juicio hacia lo sensible, una obra puede considerarse como un bien a proteger, un bien de interés cultural (BIC). Reside ahí uno de los puntos cruciales del trabajo de restauración y recuperación del patrimonio construido, ya que el valor que una sociedad le concede a cierta construcción determinará el grado de importancia que adquiere y por ende, el deseo social de preservarlo. ¿Cuál es el principal problema? La sociedad, debido a la cercanía temporal en que se inscribe este patrimonio, no conoce qué obras o bajo qué criterios este patrimonio se acota. Es por ello que la Fundación DOCOMOMO Ibérico comenzó a estudiar y documentar la arquitectura del movimiento moderno bajo la meta de lograr su reconocimiento como parte de la cultura del siglo XX, su protección patrimonial y conservación. Para ello, fue necesario detectar qué edificios formaban parte del mencionado patrimonio, así como las circunstancias que los generaron, documentar los proyectos que les dieron origen y evaluar las condiciones en que se encuentran en la actualidad. Este trabajo, el Registro DOCOMOMO Ibérico, fue realizado en tre fases: la primera, estableció un estado de la cuestión a través de los 166 edificios en terreno ibérico que se pensaron más representativos de entre los años 1925 y 1965. Las otras dos consecutivas englobaron la documentación de diferentes temáticas de la arquitectura moderna, desde vivienda e industria hasta equipamientos. Se completó finalmente un registro de unas 1.200 obras.

<sup>1</sup>. Cita extraída de : Carrión Gútiérrez, Alejandro. (2015). *Plan Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del Siglo xx*. Ministerio de educación, cultura y deporte: Subdirección General de Documentación y Publicaciones.



*Cada comunidad, teniendo en cuenta su memoria colectiva y consciente de su pasado, es responsable de la identificación, así como de la gestión de su patrimonio. Los elementos individuales de este patrimonio son portadores de muchos valores, los cuales pueden cambiar en el tiempo. Esta variabilidad de valores específicos en los elementos define la particularidad de cada patrimonio. A causa de este proceso de cambio, cada comunidad desarrolla una conciencia y un conocimiento de la necesidad de cuidar los valores propios de su patrimonio.*

*Este patrimonio no puede ser definido de un modo unívoco y estable. Sólo se puede indicar la dirección en la cual puede ser identificado. La pluralidad social implica una gran diversidad en los conceptos de patrimonio concebidos por la comunidad entera; al mismo tiempo los instrumentos y métodos desarrollados para la preservación correcta deben ser adecuados a la situación cambiante actual, que es sujeto de un proceso de evolución continua. El contexto particular de elección de estos valores requiere la preparación de un proyecto de conservación a través de una serie de decisiones de elección crítica. Todo esto debería ser materializado en un proyecto de restauración de acuerdo con unos criterios técnicos y organizativos.* <sup>2</sup>

Teniendo en cuenta todo lo anterior, es lógico que se planteen distintos métodos de preservar el patrimonio construido, siendo el **cómo** una de las grandes cuestiones que aún hoy en día provocan grandes controversias. Y si ya el material se ha deteriorado por las condiciones a las que ha estado expuesto, ¿cómo devolverlo a un buen estado? ¿Cómo se debe actuar en un elemento cuya conservación de la integridad y compatibilidad cobra una suma importancia? Estas son cuestiones que se irán planteando a lo largo de todo el trabajo y que se irán respondiendo así mismo, porque no recibe el mismo trato un elemento de hormigón común que ha sido deteriorado por ciertos agentes que uno que constituye parte de un valor patrimonial e histórico. Este último, al fin y al cabo, refleja la historia de una sociedad y quien conserva la historia, conserva su pasado y su memoria, conceptos asociados al carácter identitario de la sociedad occidental.

PALABRAS CLAVE

Patrimonio arquitectónico · Hormigón armado · Rehabilitación arquitectónica · Técnicas de rehabilitación · Protocolo de actuación

<sup>2</sup>. Cita extraída de : A. Kadluczka, G. Cristinelli ; M. Zádor. (2000). *Carta de Cracovia. Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido*. Cracovia: Conferencia Internacional sobre Conservación.

BACKGROUND



Reinforced concrete is a heterogeneous material made out of cement, water, aggregates, additives and steel. It has been used in recent decades to become a characteristic element in the architecture of the Modern Movement. Thus, it has become a landmark that defines the architecture of the Twentieth century, one intimately linked with high-rise construction.

Twentieth century cultural heritage is understood to be the “*set of movable and immovable property, artistic creations and systems of sociability that are framed chronologically between 1901 and 2000, and that are recognized as manifestations of progress in science, politics, economics, the culture and society of the last century, in its content, its technique and its materiality. Its conservation and preservation contributes to the understanding of history, technological and social advances, as well as other phenomena produced in this space of time.*” <sup>1</sup>

Diversity and complexity, along with temporal proximity are three aspects that specifically define this heritage, thus unleashing an abundant variety due to its heterogeneous condition and its ability to transcend.

This type of heritage is deeply linked to the concept of progress and obsolescence, to the consuming society, and although it varies from one country to another, this work focuses on those cultural assets within the territory of the Spanish State.

Due to the previously written, it was necessary to create a National Plan for the Conservation of the Cultural Heritage of the 20th Century, finally set up in June 2010 in the city of Alcalá de Henares by the Heritage Council. This was oriented towards three disciplines: architecture, urban planning and civil engineering; the plastic arts; and photographic, audiovisual and sound records.

It is for the reason that, through society and its judgment towards the sensitive, a work can be considered as an asset to be protected, an asset of cultural interest (BIC). It is one of the crucial points of the work of restoration and recovery of the built heritage, since the value that a society gives to a certain construction will determine the degree of importance that it acquires and therefore, the social desire to preserve it. What is the main problem? Society, that due to the temporal proximity in which this heritage is registered, does not know what works or under what criteria this heritage is limited. That is why the DOCOMOMO Ibérico Foundation began to study and document the architecture of the modern movement with the goal of achieving its recognition as part of the culture of the 20th century, its heritage protection and conservation. For this reason, it was necessary to detect which buildings were part of the aforementioned heritage, as well as the circumstances that generated them, document the projects that gave rise to them and evaluate the conditions in which they are currently. This work, the Iberian DOCOMOMO Registry, was carried out in three phases: the first, established a state of the question through the 166 buildings on Iberian land that were thought to be most representative between the years 1925 and 1965. The other two consecutive ones included the documentation of different themes of modern architecture, from housing and industry to equipment. A record of some 1,200 works was finally completed.



*Each community, taking into account its collective memory and aware of its past, is responsible for the identification, as well as the management of its heritage. The individual elements of this heritage carry many values, which can change over time. This variability of specific values in the elements defines the particularity of each heritage. Because of this process of change, each community develops an awareness and knowledge of the need to take care of the values of your heritage.*

*This heritage cannot be defined in a univocal and stable way. You can only indicate the direction in which you can be identified. Social plurality implies great diversity in the concepts of heritage conceived by the entire community; at the same time the instruments and methods developed for the correct preservation must be adequate to the current changing situation, which is subject to a process of continuous evolution. The particular context of choice of these values requires the preparation of a conservation project through a series of decisions of critical choice. All this should be materialized in a restoration project in accordance with technical and organizational criteria.* <sup>2</sup>

Taking into account all of the above, it is logical that different methods of preserving the built heritage are proposed, being *how* one of the great issues that still cause great controversies nowadays. If the material has already deteriorated due to the conditions to which it has been exposed, how to return it to good condition? How should be the procedure to act on an element whose preservation of integrity and compatibility is extremely important? These are questions that will be raised throughout the present thesis and that will be answered as well, because a common concrete element that has been damaged by certain agents does not receive the same treatment as one that constitutes part of a patrimonial and historical value. The latter, after all, reflects the history of a society and whoever preserves history, preserves its past and memory, concepts associated with the identity of Western society.

KEYWORDS

Architectural heritage · Reinforced concrete · Architectural rehabilitation · Rehabilitation techniques · Action protocol



Fig. 0.1. Imagen de la construcción del Hipódromo de la Zarzuela.



# OBJETIVOS



El objetivo global del presente trabajo de fin de grado es el de establecer un protocolo de intervención para aquellas estructuras pertenecientes al *patrimonio* cuyo material protagonista sea el hormigón armado. Para ello se han podido establecer los siguientes objetivos parciales:

/// Análisis de las **principales patologías** en las estructuras de hormigón, desde una **perspectiva arquitectónica** y no de ingeniería civil.

/// Estudio de edificios construidos en hormigón armado en los últimos 50 años que sean considerados parte del **patrimonio** español en el 2020, ampliando el espectro en el entorno de la Comunidad de Madrid.

/// Análisis del **estado actual** de los mencionados edificios, así como sus **intervenciones** sufridas.

/// Análisis de las principales **técnicas de rehabilitación** dirigidas al hormigón armado, desde las más tradicionales hasta las más innovadoras.

/// Propuesta de un **protocolo de actuación sobre edificios con valor patrimonial** en base a todo lo mencionado anteriormente.

# METODOLOGÍA



La metodología del presente trabajo de fin de grado se ha basado en conseguir generar un protocolo para intervenir en edificios que tengan cierto grado de protección, que tengan valor para la sociedad. Se diferencia así de cualquier manual de intervención en estructuras de hormigón armado por tener en alta consideración ya no solo el material en sí mismo sino las técnicas empleadas en la construcción de dicho edificio. Busca mantener al máximo la integridad de lo existente así como buscar la máxima compatibilidad y adherencia del o los elementos a tratar. Para ello, la mencionada metodología aúna cinco tiempos analíticos :

/// **Estudio bibliográfico** con recopilación y lectura de artículos publicados respecto a la materia. La base de partida ha sido el libro de “Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales”, del tratado de rehabilitación de la DCTA-UPM junto al artículo de “Rehabilitación de estructuras de hormigón: técnicas y sistemas”, de Fernando Rodríguez García y el “Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado”, de Jesús Porto Quintián.

/// A partir del estudio realizado previamente, **selección de las patologías** más frecuentes en el hormigón armado y su posterior organización en elementos arquitectónicos en función de su accesibilidad.

/// **Estudio de los casos** elegidos dentro del catálogo del ICOMOS pertenecientes al patrimonio español construido en hormigón armado. Relación de estos con las patologías previamente estudiadas y la gestión de los mismos ante patologías que hayan o estén presentando.

/// **Estudio de las principales técnicas de rehabilitación**, tanto tradicionales como las más novedosas y competitivas en el sector.

/// **Propuesta de un protocolo de intervención** para aquellos edificios con grados de protección dentro del entorno nacional, teniendo en cuenta la normativa vigente actual.



# **1** **PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO**



# PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

El hormigón está compuesto por materiales bien distintos que, si bien se compenetran, no dejan de presentar dificultades a la hora de la ejecución del mismo.

Es por este motivo por el cual se considera al hormigón como heterogéneo, conformado por diferentes materiales (cemento, agua, áridos, aditivos, acero, etc.). El hormigón es poroso y está rodeado de un medio que es capaz de provocar que algunos de sus componentes reaccionen. No hay que dejar de tener en cuenta tampoco que han de soportar esfuerzos y cargas a lo largo de toda su vida útil.

Otro factor a tener en cuenta a la hora de realizar un estudio patológico es que generalmente, las lesiones se originan por más de una causa e incluso suele haber más de un tipo de daño simultáneo.

El elemento a inspeccionar puede ser **inaccesible** y de complejo alcance o bien completamente **accesible**, en cuyo caso se estaría ante una situación ideal para su posterior tratamiento. Es por ello que primeramente se categorizarán las patologías por elementos inspeccionables y aquellos de inspección compleja como cimentaciones o muros de contención. Así mismo , se tiene en cuenta una tercera categoría para aquellos **elementos curvos** que se salgan de la categoría estandarizada porticada.

La normativa que se aplica al hormigón también debe tenerse en cuenta, pues hoy en día la variedad en cuanto a dosificaciones es mucho mayor. Esto suscita dos preguntas importantes en cuanto a patrimonio se refiere. ¿Habría de replicarse la dosificación que se empleó para la construcción de ese edificio hace más de 50 años para que fuese compatible con la preexistencia? ¿Se debería crear una nueva dosificación que pudiera ser más duradera y solventar las posibles patologías que presenten en el momento de ser analizadas a la vez que sea compatible? Estas son algunas de las que cuestiones que se espera ir resolviendo a lo largo del resto de capítulos.

## /// ELEMENTOS INSPECCIONABLES \*

- // Pilares
- // Vigas
- // Ménsulas
- // Forjados
- // Muros estructurales

## /// ELEMENTOS DE INSPECCIÓN COMPLEJA \*

- // Cimentaciones
- // Contención del terreno

## /// ELEMENTOS CURVOS

\* Información de manual extraída de : Porto Quintián, Jesús. (2005). ‘Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado. Tomo III’. Escola Universitaria de Arquitectura Técnica Universidade da Coruña.

## /// ELEMENTOS INSPECCIONABLES

### // Pilares

#### / [ P.1 ]. Desagregación del hormigón por ataque químico

Consiste en el desmoronamiento del hormigón provocado por un ataque químico que sufre lenta y progresivamente. Finalmente termina deshaciéndolo, además de provocar la corrosión de las armaduras.

Inicialmente suele presentar un aspecto poroso, con eflorescencias y cambio de color, que es significativo de que se está produciendo una pérdida de resistencia pudiendo llegar al colapso.

Las causas pueden deberse a la elaboración del hormigón con algún componente químico que le ataca desde dentro ( áridos reactivos, aditivos, cementos... etc.), o bien por encontrarse en un ambiente agresivo que lo ataca desde el exterior.

Para solucionarlo, se debe apuntalar con urgencia, eliminar la causa del problema y proteger al hormigón. En caso de que el ataque haya sido interior, se debe sustituir el elemento.

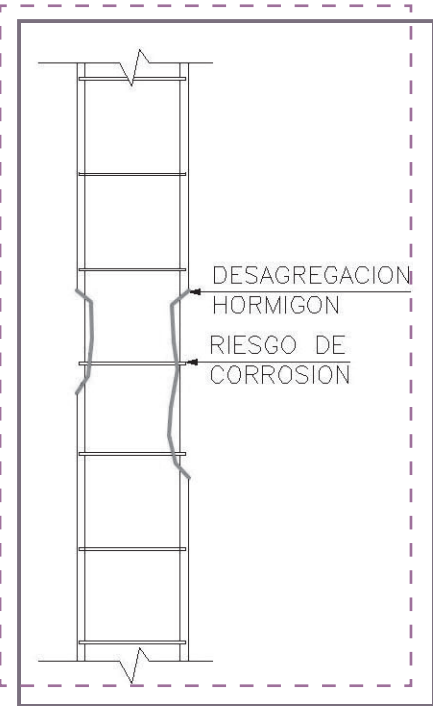


Fig. 1.1. Esquema de la desagregación de un pilar de hormigón armado.



Fig. 1.2. Imagen de la desagregación de un pilar de hormigón armado.



/ [ P.2 ]. Corrosión en la armadura

Consiste en la oxidación de las armaduras gracias al oxígeno que penetra del exterior y a la existencia de agua en el interior del hormigón. En muchos de los casos es provocado por la carbonatación del hormigón, un proceso por el que el pH de este pasa de uno básico y protector a uno ácido que deja las armaduras expuestas al proceso de corrosión.

Al corroerse, la armadura aumenta de volumen, ejerciendo una presión en el hormigón que puede provocar la caída de los recubrimientos. El fallo por corrosión se produce bien por la pérdida de sección de las barras o por el pandeo de estas, cuando los cercos se corroen y no la atan.

Las causas de dicho daño pueden deberse al empleo de agua o áridos inadecuados, a una armadura con escaso recubrimiento, a un hormigón poco compacto o muy poroso, o por la ausencia de una protección anti corrosión en presencia de ambientes agresivos con alto contenido de cloruros (zonas costeras o industrias).

Para solucionar este problema se suele optar por medidas de apuntalamiento, protección de la armadura y reparación del hormigón circundante; y sustitución de la armadura si esta está muy dañada.

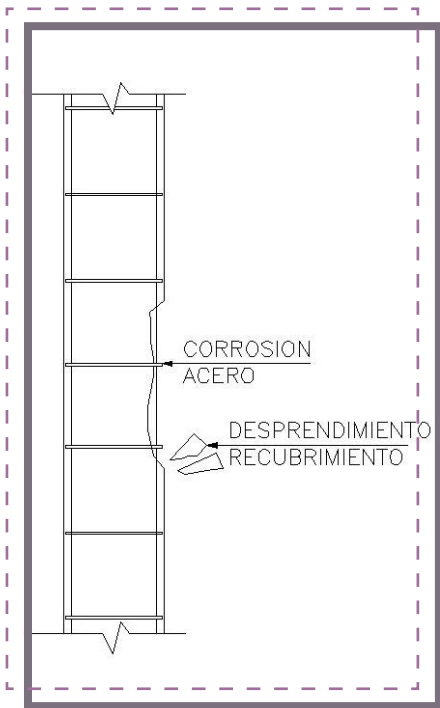


Fig. 1.3. Esquema de la corrosión en la armadura de un pilar de hormigón armado.



Fig. 1.4. Imagen de la corrosión en la armadura de un pilar de hormigón armado.

/ [ P.3 ]. Aplastamiento por compresión del pilar

Se trata de la fisuración fina, vertical de carácter rápido pero grave que divide en dos al pilar al no poder soportar la carga a la que está sometido. Para más inri, puede provocar que las barras puedan pandear y desprender así los recubrimientos con su consecuente fisuramiento en las esquinas. Es por este motivo por el que debe evitarse al máximo la aparición de esta patología mediante el correcto funcionamiento de los cercos.

Las causas de este problema pueden deberse a la ausencia de estribos en el pilar, también debido al deslizamiento de los cercos que se encuentren bajo la fisura durante el proceso de vertido del hormigón en el pilar. También a un incorrecto diseño (por sección o armadura insuficiente, hormigón deficiente o exceso de carga), al asiento de alguna parte de la edificación o también a un sismo.

La medida a tomar es la de apuntalar urgentemente y reforzar el pilar bien por recrecido de hormigón o por empleo de perfiles de acero. Si se optase por este último método, habrían de reforzarse las plantas superiores e inferiores evitando así un punzamiento en ambos forjados, al no tener resistencia suficiente a los esfuerzos cortantes a los que se somete.

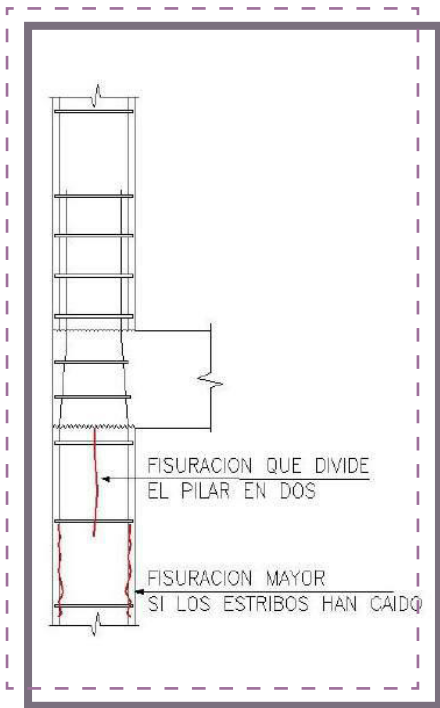


Fig. 1.5. Esquema del aplastamiento por compresión de un pilar.



Fig. 1.6. Imagen del aplastamiento por compresión de un pilar.



/// ELEMENTOS INSPECCIONABLES

// Vigas

/ [ V.1 ]. Corrosión de las armaduras de las vigas

Consiste en la corrosión de las armaduras debido al oxígeno que ha conseguido penetrar del entorno externo junto con la existencia del agua en el interior del hormigón. Debido a la corrosión de la armadura y su consecuente aumento de volumen, la presión en el interior del hormigón aumenta y pueden provocarse fisuras abiertas en el sentido longitudinal de la armadura. Finalmente el hormigón de los recubrimientos se desprende y se deja la armadura al descubierto.

Las causas de esta patología pueden deberse a la escasez de recubrimiento por falta de calzos o separadores, por una deficiente compactación o vibrado (hormigón poroso), por un ambiente agresivo no previsto o por la existencia de forjados sanitarios con cámara sin ventilación.

Para remediarlo podría protegerse la armadura para así frenar la corrosión, añadiendo nueva en caso de ser necesario. Ventilar los forjados también es una medida efectiva.

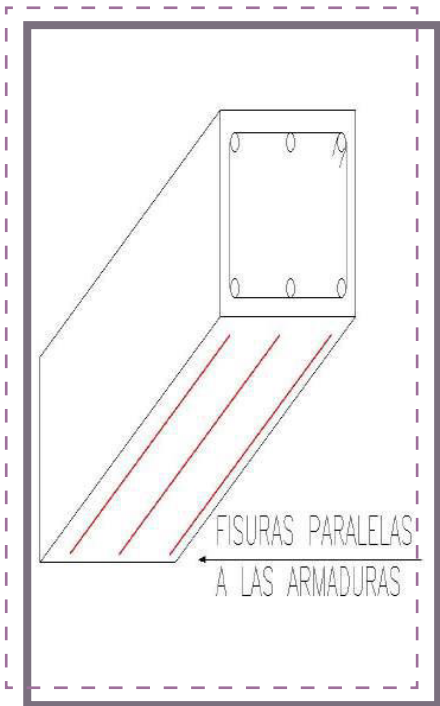


Fig. 1.7. Esquema de las fisuras en viga de hormigón armado por corrosión de armaduras.



Fig. 1.8. Imagen de las fisuras en viga de hormigón armado por corrosión de armaduras.

/ [ V.2 ]. Aplastamiento por compresión del hormigón de una viga

Se trata de la rotura de carácter grave que se produce en la zona de compresión del hormigón debido a su aplastamiento. Estas roturas son muy peligrosas ya que empiezan con unas fisuras relativamente grandes y pueden llegar a producirse el agotamiento de la viga (la cantidad de acero juega un papel fundamental en este proceso).

Se ubican estas fisuras en la cara superior del centro de la viga, así como en las caras interiores de las zonas externas de la viga en su unión con el pilar.

Las causas que producen este tipo de tipología pueden deberse a una sección relativamente menor a la cantidad de armadura dispuesta a tracción, a un hormigón deficiente, exceso de carga o a un cálculo erróneo.

Para solucionar este problema se debe apuntalar con urgencia debido a su peligroso carácter, así como aumentar la sección de la viga mediante el refuerzo por recrecidos o con perfilaría metálica. Reducir las cargas también es crucial.

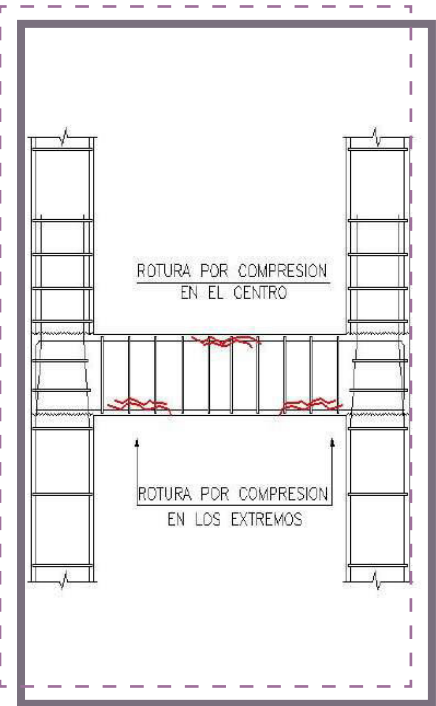


Fig. 1.9. Esquema de fisuraciones por compresión en una viga de hormigón armado.

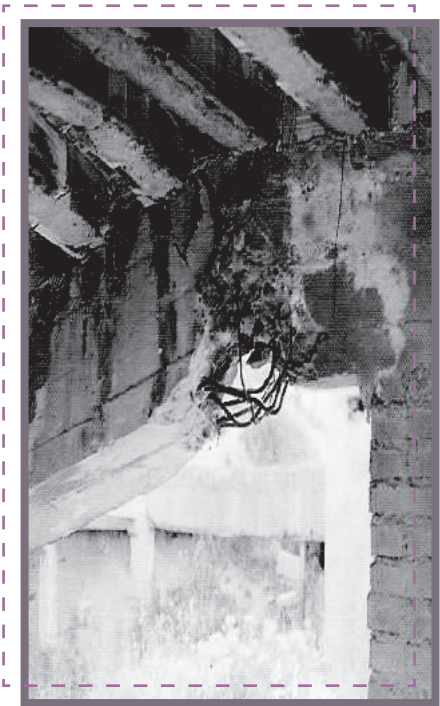


Fig. 1.10. Imagen de fisuraciones por compresión en una viga de hormigón armado.



/ [ V.3 ]. Deformación excesiva o flecha de una viga

La flecha o deformación que una viga experimenta puede provocar fisuras en tabiques de plantas inferiores. Para ello, la flecha de un forjado debe limitarse para evitar así este tipo de fisuraciones. Por lo general, no es una patología que conlleve problemas estructurales pero sí estéticos.

Las fisuras que aparecen en los tabiques que o tienen mucha altura son finas y verticales, mientras que si este tabique es alto, las fisuras que aparecen son horizontales.

Las causas que provocan este tipo de problema se deben a un erróneo cálculo de las deformaciones, no considerarlas en absoluto, no prever transmisión de cargas a través de cerramientos con grandes luces, no haberle dado mayor capacidad portante al primer forjado, o no igualar las deformaciones en vigas que forman la junta de dilatación.

Para corregirlo, es bueno reforzar la viga en cuestión para darle mayor rigidez o dejar un espacio entre el forjado y el tabique para así dejar espacio para que la viga flecte.

/ [ V.4 ]. Escasa longitud de anclaje en negativos

Se caracteriza por presentar una fina fisuración al estar el hormigón traccionado cuando la armadura se desliza a través del hormigón. Se puede llegar incluso a la rotura de la viga.

Este problema se debe a la redistribución de momentos al aumentar los momentos positivos en la cara inferior de la vida así como los negativos en el otro extremo. La fisuración se caracteriza por ser de 45° en los laterales de la viga y en la otra cara, aparecen verticales situadas en el lugar de las patillas.

Las causas que provocan esta patología radican en la escasa longitud de anclaje bien por omisión o cortedad de patillas. También puede suceder porque la armadura externa en una viga plana con grandes luces y diámetros gruesos, no sea suficiente con colocar una patilla en el canto de la viga.

Las medidas que pueden tomarse para solucionar este problema consisten en apuntalar y aumentar la longitud de anclaje previo al deslice de la armadura.

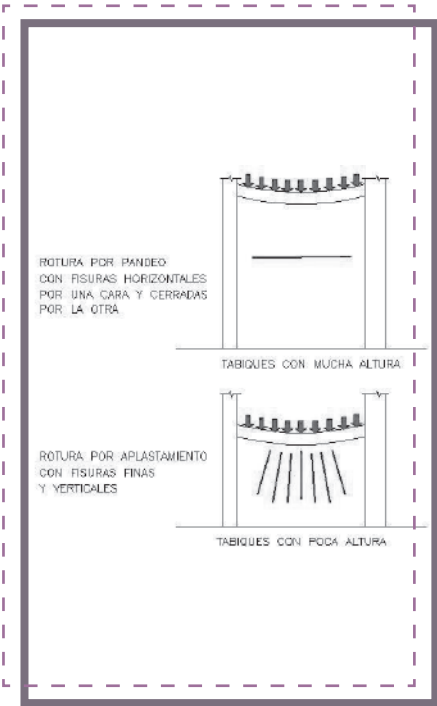


Fig. 1.11. Esquema de las fisuras en viga de hormigón armado por excesiva flecha.

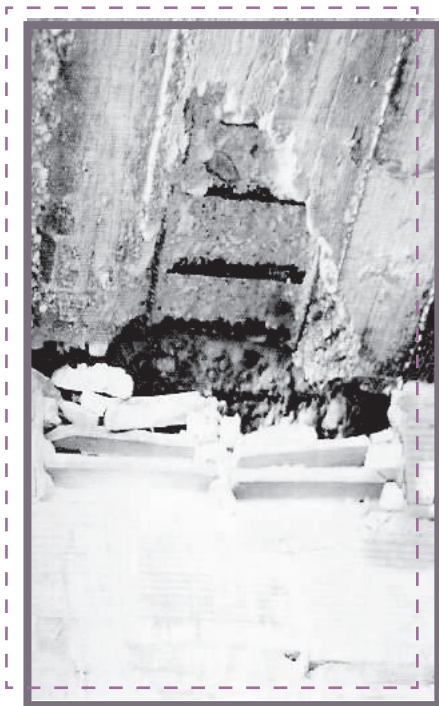


Fig. 1.12. Imagen de las fisuras en viga de hormigón armado por excesiva flecha.

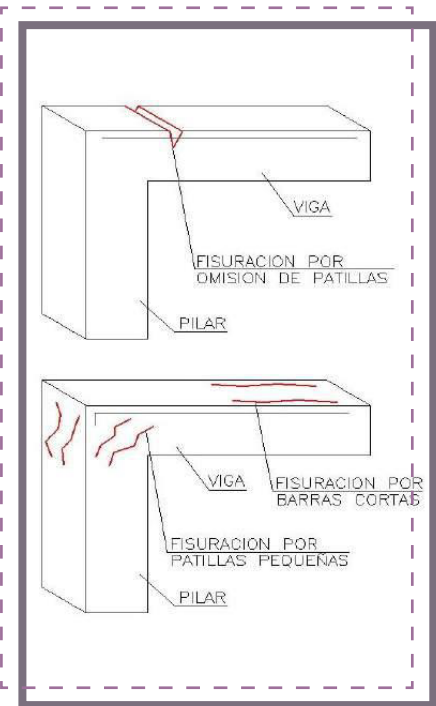


Fig. 1.13. Esquema de las fisuras en viga de hormigón armado por escasa longitud de anclaje en negativos.

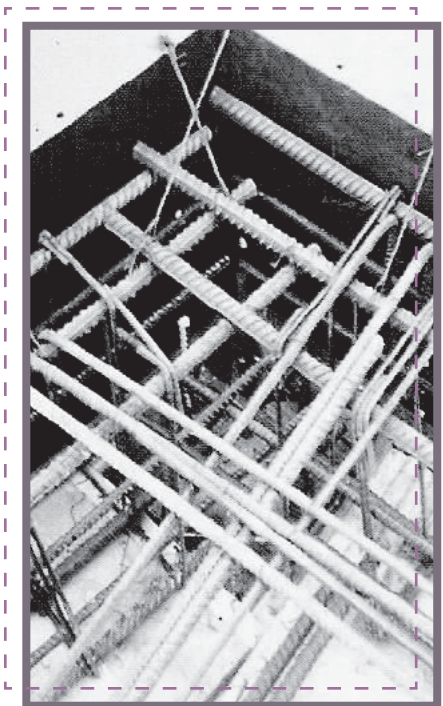


Fig. 1.14. Imagen de las fisuras en viga de hormigón armado por escasa longitud de anclaje en negativos.

/// ELEMENTOS INSPECCIONABLES

// Ménsulas

/ [ M.1 ]. Rotura a flexión

Se trata de la fisuración abierta en el punto donde se reciben las cargas a la ménsula, cerrándose estas a medida que se desciende por las caras laterales de la misma.

Las causas por las que se pueden generar las fisuras pueden ser debido a una armadura de flexión insuficiente, por escasa longitud del anclaje o por un exceso de carga.

Para solventar dicha patología, sería necesario apuntalar y colocar la armadura que se considere necesaria.

/ [ M.2 ]. Aplastamiento del hormigón

Se trata de una fisuración que se produce en el hormigón por su aplastamiento en la zona de compresión situada en la parte inferior de la ménsula. Las fisuraciones que aparecen son finas y cerradas.

Suele ocurrir cuando la armadura a flexión es mayor y a compresión no se ha tenido apenas en cuenta, por una sección insuficiente o un exceso de carga.

Para solucionar el mencionado problema, se debe apuntalar con urgencia, aumentar la sección y reducir en la medida de lo posible todas las cargas que esté soportando.

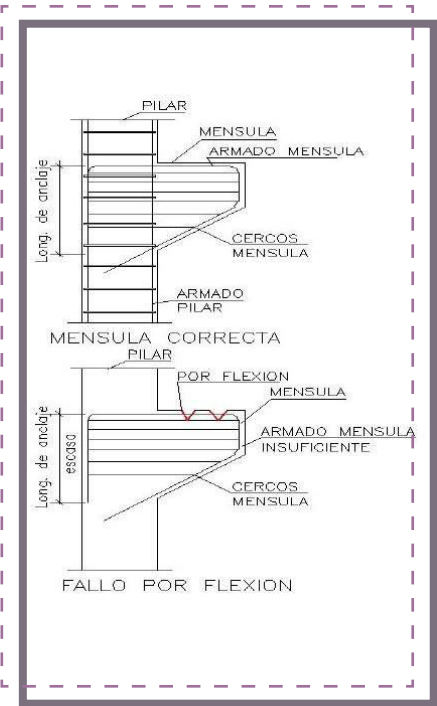


Fig. 1.15. Esquema de las fisuras en ménsula de hormigón armado por rotura a flexión.

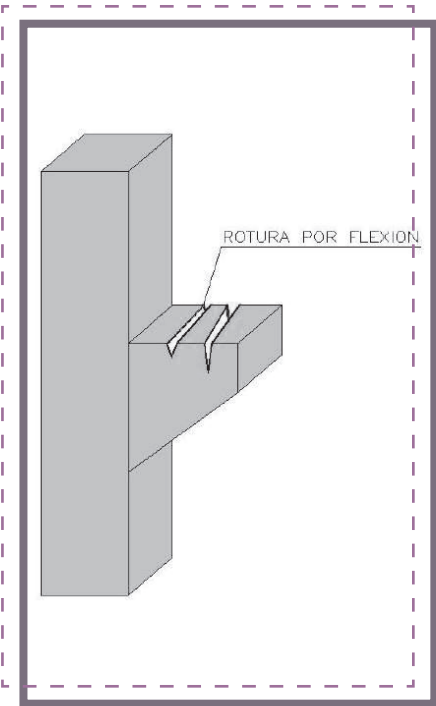


Fig. 1.16. Imagen de las fisuras en ménsula de hormigón armado por rotura a flexión.

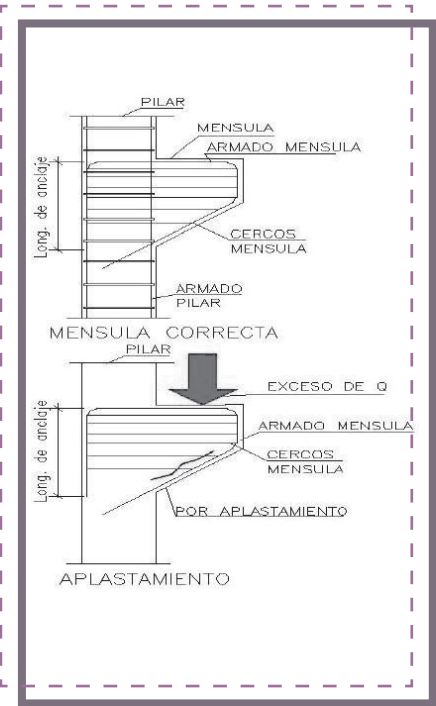


Fig. 1.17. Esquema de fisuraciones por compresión en una ménsula de hormigón armado.

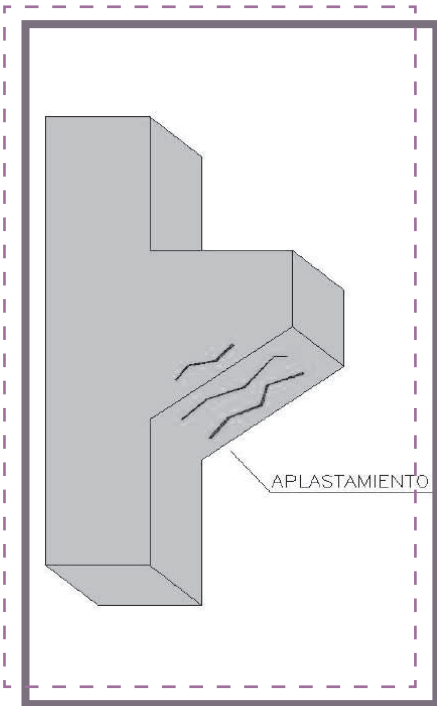


Fig. 1.18. Imagen de fisuraciones por compresión en una ménsula de hormigón armado.



/// ELEMENTOS INSPECCIONABLES

//Forjado

/ [ F.1 ]. Corrosión de la armadura en viguetas

Esta patología se distingue por la manifestación de las manchas de óxido a lo largo de las viguetas. Debido al aumento de volumen que experimenta la armadura corroída, el hormigón circundante se va fisurando. La rotura de la vigueta se acaba dando por pérdida de adherencia cuando el recubrimiento ya no está presente o bien por falta de sección.

Las causas que pueden generar dicho problema son los ambientes agresivos, con especial atención a aquellos en los que los cloruros están presentes (zonas marítimas); y aquellos forjados que estén situados en zonas sin ventilación como depósitos o bodegas.

Para solucionar esta patología es necesario primero comprobar el estado en el que se encuentra la corrosión, ya que si no está avanzado se podrá tratar la armadura antes de que cause mayores estragos, mientras que si está en un estado avanzado, sería necesario apuntalar y sustituir la armadura.

/ [ F.2 ]. Aluminosis en viguetas pretensadas

Consiste en la transformación de los aluminatos del cemento aluminoso, provocando así un cambio de su estructura. Esto provoca grandes pérdidas de resistencia y aumento de la porosidad, lo que, consecuentemente deriva en una merma de la durabilidad del hormigón. Esto facilita así mismo la corrosión de la armadura y en presencia de ambientes húmedos, el proceso de carbonatación podría darse, dejando el elemento totalmente inservible.

Las causas que provocan esta patología son primeramente, el empleo de cemento aluminoso, la conversión de los aluminatos, temperatura y humedad elevados o por carbonatación del cemento.

Las medidas que podrían tomarse para solventar este problema sería primeramente apuntalar con urgencia, sustitución del elemento si tiene gravedad acuciante y fraccionar la luz con vigas para después aplicarle protecciones anti humedad y corrosión.

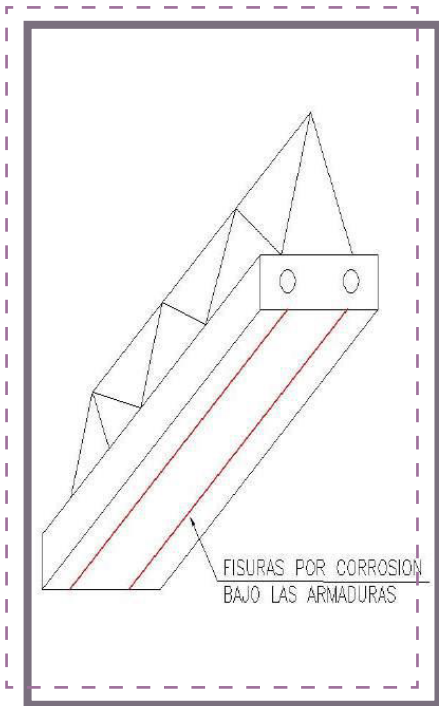


Fig. 1.19. Esquema de las fisuras en vigueta de hormigón armado por corrosión de las armaduras.



Fig. 1.20. Imagen de las fisuras en vigueta de hormigón armado por corrosión de las armaduras.

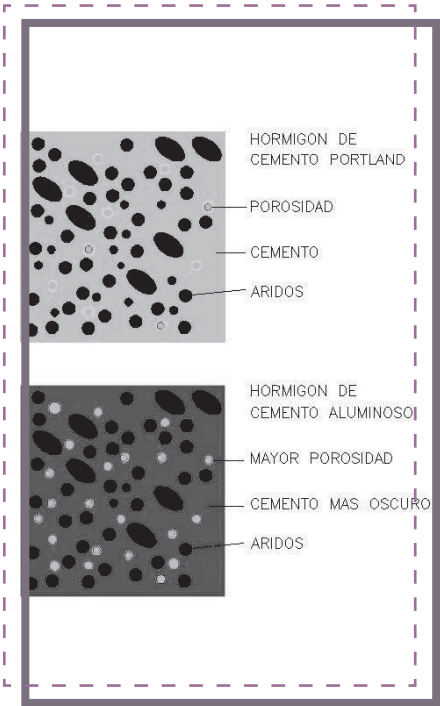


Fig. 1.21. Esquema de proceso de aluminosis en hormigón armado.



Fig. 1.22. Imagen de aluminosis en una vigueta de hormigón armado.

/ [ F.3 ]. Aplastamiento de las cabezas de las viguetas

Consiste en la aparición de fisuras finas debido al aplastamiento del hormigón en la cara inferior de las viguetas. Se trataría de una patología grave si se produjese en todas las viguetas. El aplastamiento más frecuente es el producido por asiento de la cimentación.

Las causas más frecuentes son por empleo de viguetas cortas con mal hormigonado, por debilitamiento del hormigón debido a golpes al desmochar cabezas de viguetas, por una fuerte entrada en carga por compresiones excesivas o por un alto asiento diferencial.

Las medidas que podrían tomarse serían las de apuntalar o la inyección de resinas en las fisuras (asegurando siempre compatibilidad).



Fig. 1.23. Esquema de las fisuras en vigueta de hormigón armado por aplastamiento en cabezas.

/ [ F.4 ]. Depósitos de sales y carbonatación de un forjado reticular

Consiste en la génesis de depósitos de sales, a veces carbonatadas, que aparecen por la filtración de agua a través de las juntas o del propio material. Así, se produce el arrastre de las sustancias de carbono del hormigón. Por lo general no se trata de una patología peligrosa pero las mencionadas sales pueden transformarse en unas carbonatadas y por ende, favorecer la despasivación del hormigón (y favorecer así la posterior corrosión de las armaduras).

Los motivos de dicha patología pueden deberse al lavado del calcio del propio hormigón, a una impermeabilización deficiente, por rotura del sellado de juntas, por grietas en el material o un mal vibrado que ha generado un hormigón poroso.

Para solventarlo, es conveniente eliminar dichos depósitos, sanear el hormigón y proteger la armadura afectada en caso de ser posible. Sustituirla si no.

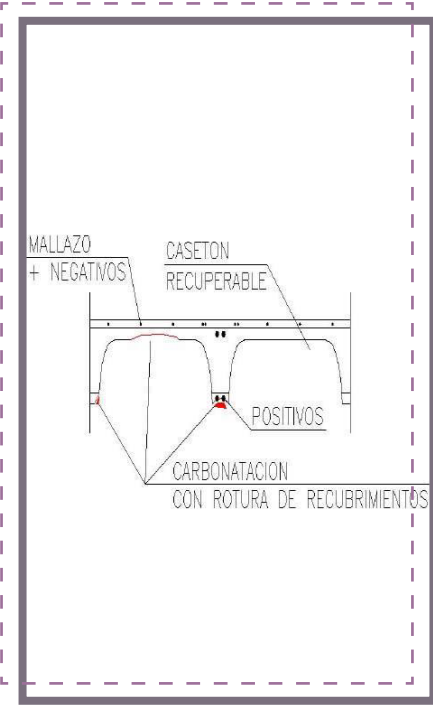


Fig. 1.25. Esquema de depósitos en forjados de hormigón armado.



Fig. 1.26. Imagen de depósitos en forjados de hormigón armado.



/// ELEMENTOS INSPECCIONABLES

//Muros estructurales

/ [ M.E.1 ]. Fisuración por deformación de forjados

Esta patología, tal y como se vio en el apartado de vigas [V], nace a raíz de una flecha excesiva de los forjados que se traslada directamente a los muros estructurales. Este efecto se acentúa en los muros estructurales ya que el número de juntas en relación a los metros cuadrados es pequeña, por lo que las fisuras se concentran sobre todo en grietas.

El tipo de fisuras que aparecen pueden englobarse en tres grupos. El primero (1), debido a la deformación del forjado inferior por el que se generan fisuras horizontales en la parte baja del muro, y en caso de que existan huecos, las fisuras horizontales se trasladarán a las zonas más débiles. El segundo (2), originado por la deformación de ambos forjados provoca fisuras inclinadas que señalan al apoyo del forjado inferior. El tercero y último (3) se produce por la deformación del forjado superior y este origina fisuras verticales de compresión que normalmente se ubican en la parte central del muro.

Un aspecto a tener en cuenta es que los tipos de fisuras anteriormente mencionados no suelen darse de forma aislada sino combinados. Es por esto que en ocasiones localizar el origen del problema puede resultar complejo.

Las causas que provocan este tipo de patologías se deben a errores de cálculo, a una ejecución del forjado defectuosa o incluso por el acodamiento de tabiques y cerramientos contra los forjados previo a la adquisición completa de su deformación (por peso propio por ejemplo).

Las medidas que deberían tomarse corresponden a las ya dadas en el apartado [V.3].

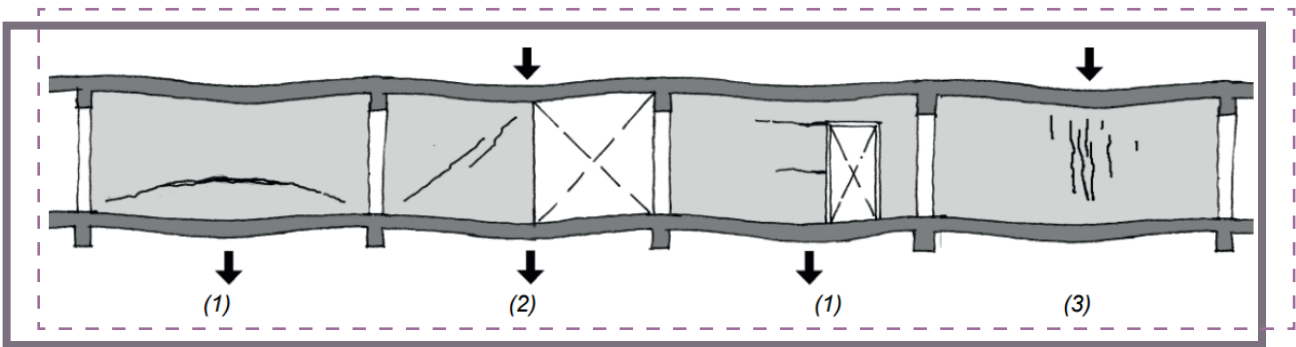


Fig. 1.27. Esquema de las fisuras en muro de hormigón armado por deformación de forjados.

/ [ M.E.2 ]. Fisuración por asentamiento plástico del hormigón

Cuando el hormigón ha sido vertido en el encofrado, este se asienta expulsando al exterior mediante la exudación del agua del amasado que no le es útil para su proceso de hidratación. Ello provoca el descenso del plato horizontal superior del hormigonado y sufre variaciones de volumen. La patología se produce cuando armaduras u otros elementos impiden dicho asentamiento y se generan fisuras de poca profundidad en torno a las zonas inferiores donde se localizan barras y estribos. De no tratarse, podrían corroerse las armaduras con todas las consecuencias que ello conlleva y se ha visto con anterioridad.

Los muros estructurales sufren de fisuraciones en las prolongaciones de las jambas de las aperturas si se produce el mencionado asentamiento plástico del hormigón.

Para solventar dicha patología se debería haber hormigonado con intervalos entre las diferentes profundidades del hormigón, haber colocado bien las armaduras o haber configurado una correcta dosificación. En el caso de la intervención, se deben tratar las mencionadas fisuras mediante la inyección si es favorable ya que prima ante todo la conservación.

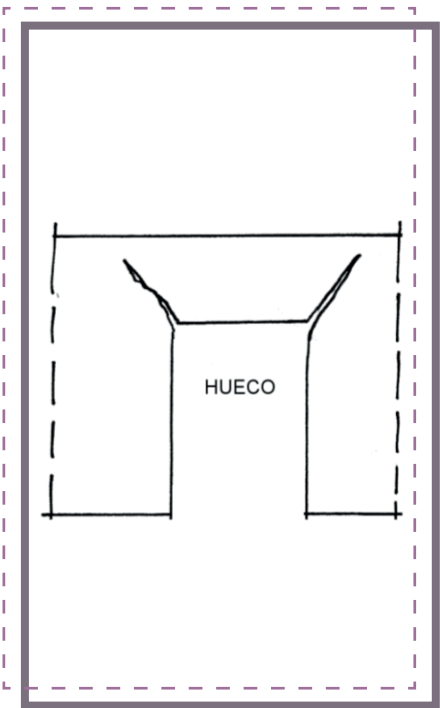


Fig. 1.28. Esquema de fisuras por asentamiento plástico en muro de hormigón armado.



Fig. 1.29. Imagen de fisuras por asentamiento plástico en muro de hormigón armado.

/// ELEMENTOS DE INSPECCIÓN COMPLEJA

//Cimentaciones

/ [ C.1 ]. Asiento de una cimentación corrida.

Esta patología se caracteriza por presentar grietas a 45° de carácter más abierto por la parte superior, que va decreciendo en tanto se aleja de la zona de mayor asiento. Se produce por movimientos del terreno bajo las cimentaciones corridas, las cuales, al tener menor profundidad, se ven más expuestas.

Este problema puede deberse a un asiento de mayor magnitud en una cimentación, por una excavación más profunda ubicada en un solar de carácter medianero o por zanjas profundas para la instalación de redes.

Algunas de las medidas que pueden tomarse para así paliar el problema pueden ser eliminar si es posible la causa que ha provocado el asiento, reparando acto seguido las grietas o bien mediante el recalce de la cimentación.

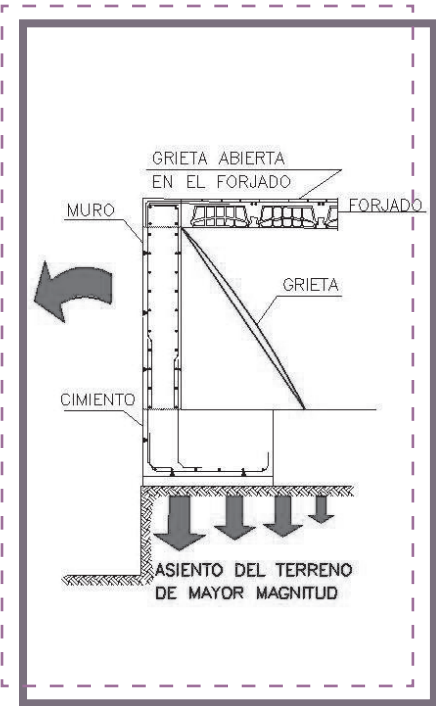


Fig. 1.30. Esquema de las fisuras por asiento de una cimentación corrida de hormigón armado.

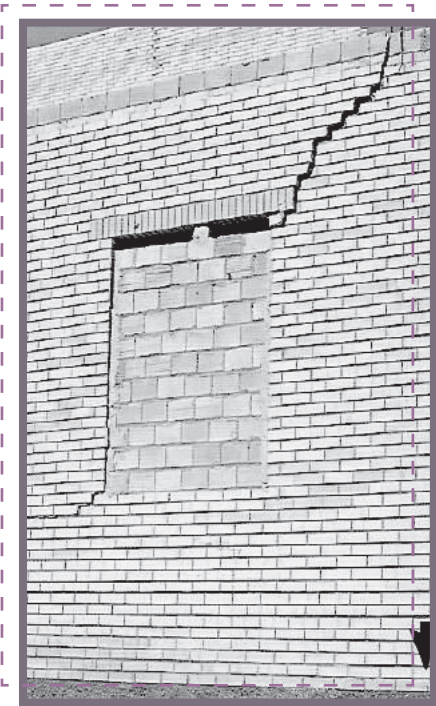


Fig. 1.31. Imagen de las fisuras por asiento de una cimentación corrida de hormigón armado.

/ [ C.2 ]. Asiento de la zapata de un pilar

Se trata de un asiento que genera grietas de carácter inclinado en los cerramientos, alejándose de manera descendente respecto de la zapata que ha asentado. De ser un asiento elevado, se corre el riesgo de que el forjado pueda desprenderse y la cimentación en cuestión pueda sufrir giros. Esto podría derivar en que las mencionadas cimentaciones puedan considerarse en estado de ruina.

Las causas que provocan dicha patología pueden ser por rotura de redes de saneamiento o agua (y consecuentemente, alteran el terreno al modificar su capacidad portante); por oquedades en el terreno, por presencia de terrenos de relleno o por excesiva presión sobre el terreno.

Algunas medidas que podrían tomarse para remediar el problema podrían ser apuntalar y recalzar el cimiento o corregir el problema en caso de que se haya generado por rotura de redes de saneamiento o agua.

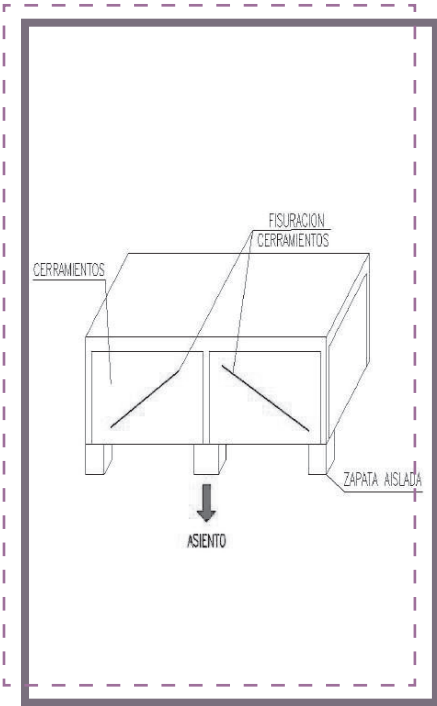


Fig. 1.32. Esquema de grieta por asiento de zapata de hormigón armado de un pilar.



Fig. 1.33. Imagen de grieta por asiento de zapata de hormigón armado de un pilar.



/// ELEMENTOS DE INSPECCIÓN COMPLEJA

//Cimentaciones

/ [ C.3 ]. Asiento por consolidación desigual del terreno.

Esta patología se origina cuando el asiento de una parte del edificio con respecto a otra se produce en terrenos cohesivos (arcillas).  
Las principales causas por las que se origina dicho problema son las de la omisión de vigas centradoras, por el empuje del viento que incidente más en una fachada que en cualquier otra, por la sobrecarga de una zona solamente de la edificación, por alterar las condiciones del terreno, por una estructura que haya sido colocada inadecuadamente, por la construcción de cimentaciones en distintos tipos de terreno o por la construcción de una nueva obra colindante.  
Algunas de las medidas que pueden tomarse son la investigación de las causas y su posterior eliminación siempre y cuando sea posible, el apuntalar y el recalce de la cimentación.

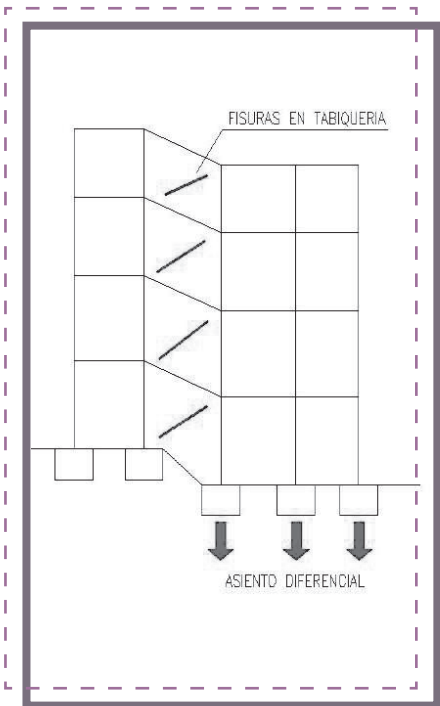


Fig. 1.35. Esquema de las fisuras°

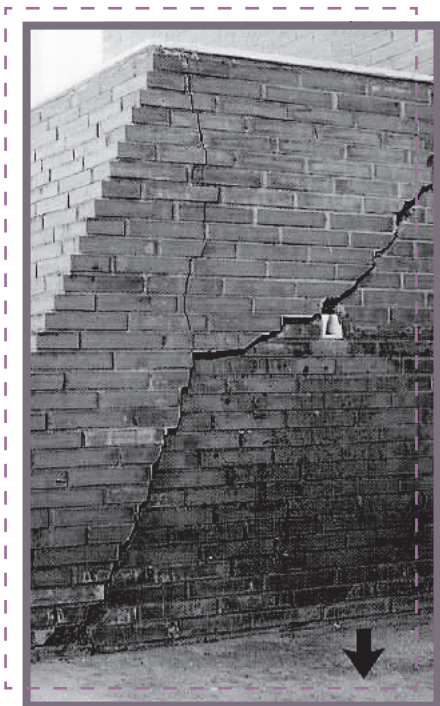


Fig. 1.36. Imagen de las fisuras por asiento debido a la consolidación desigual del terreno.

/ [ C.4 ]. Inclinación de edificios.

La inclinación de los edificios durante su vida útil suele deberse a la errónea determinación de las propiedades y características del terreno. Dependiendo de la gravedad de la inclinación, pueden aparecer fisuras en cerramientos o, en los casos más graves, pueden llegar a colapsar las piezas estructurales.  
Las causas que pueden provocar este tipo de patología pueden ser por la construcción sobre un relleno en ladera, por la edificación sobre firme y sobre relleno, por construcción sobre cimentaciones o por desplazamiento de tierras a la hora de ejecutar una excavación.  
La única medida que podría darse sería la de la eliminación de la causa que provoca el asiento y el recalce de la cimentación.

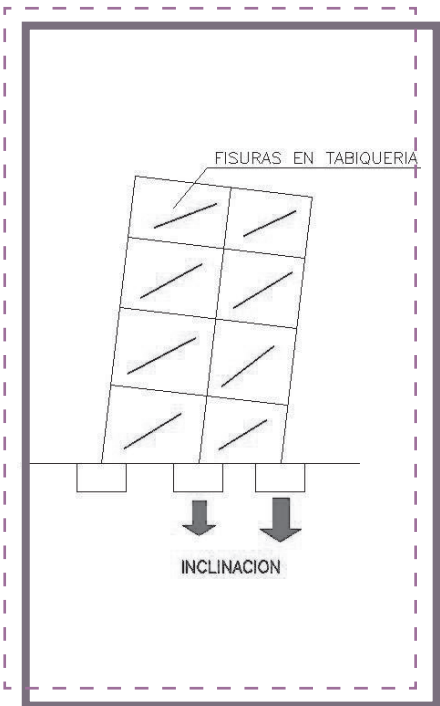


Fig. 1.37. Esquema de fisuras por inclinación del edificio.

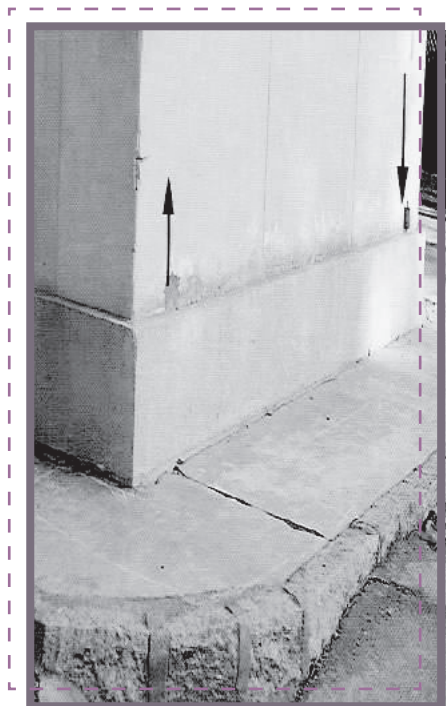


Fig. 1.38. Imagen de fisuras por inclinación del edificio.

/// ELEMENTOS DE INSPECCIÓN COMPLEJA

//Muros de contención

/ [ M.C.1 ]. Deslizamiento de un muro de contención

Esta patología se produce cuando los muros de gravedad no tienen el peso suficiente, provocando así su vuelco o deslizamiento. En el caso en el que haya dos muros transversales y uno deslice, este último rompe a tracción. Aparece así una grieta vertical de apertura constante. Ocurriría algo igual ante el deslizamiento de distintas capas de terreno que el muro estuviera soportando.

El origen de esta patología puede encontrarse en peso insuficiente, por un cálculo que no ha sido lo suficientemente bueno o por un aumento del empuje.

Para solventar el problema podría aumentarse la sección o bien reducir el empuje al que está siendo sometido el muro en cuestión.

/ [ M.C.2 ]. Retracción de un muro de contención

Consiste en la fisuración abierta debido a retracciones bien térmicas o hidráulicas. Esta fisura suele aparecer en la coronación del muro, cerrándose a medida que se descende a su parte inferior.

Esta problemática se ocasiona por omitir juntas de hormigonado, por la escasez de armadura, por una excesiva longitud de muro que no tenga dispuestas juntas de dilatación o bien por acción del sol o viento sobre el hormigón estando este en estado fresco.

Para solventarlo, se recomienda ejecutar juntas de dilatación y el añadido de armadura longitudinal en la coronación del muro con su posterior sellado de fisuras.

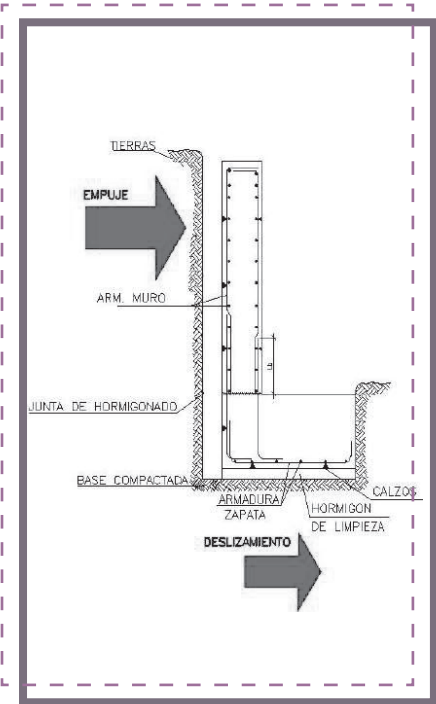


Fig. 1.39. Esquema de las fisuras por deslizamiento del muro de contención.



Fig. 1.40. Imagen de las fisuras por deslizamiento del muro de contención.

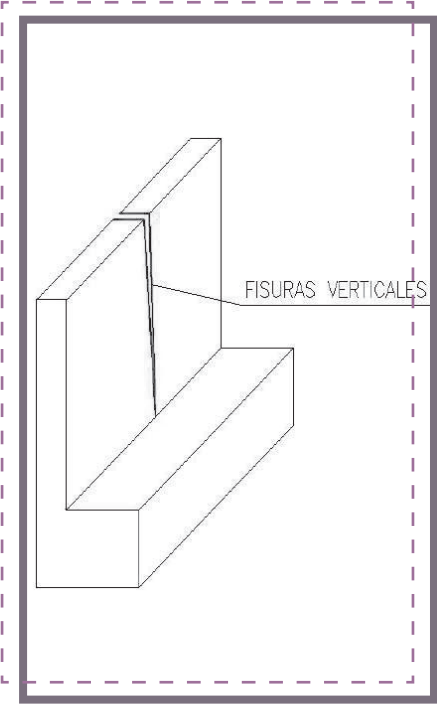


Fig. 1.41. Esquema de fisuración por retracción del muro de contención.



Fig. 1.42. Imagen de fisuración por retracción del muro de contención.



/// ELEMENTOS CURVOS

Tal y como se podrá comprobar en el capítulo 5 (el del estudio de casos), los elementos curvos proponen una nueva preocupación respecto a lo que fisuras se refiere. El principal problema es que si esta estructura curva no se contempla desde ambas caras, se corre el riesgo de que la fisura en cuestión pueda traspasar el elemento.

Respecto al resto de contemplaciones, los elementos curvos sufren diferentes solicitaciones al resto de estructuras y es por ello que su estudio también debe ser preciso. Pueden presentar patologías por deformaciones excesivas ante cálculos erróneos o escaso espesor en determinadas zonas que vuelvan al elemento frágil.

También pueden presentar casi el resto de patologías previamente estudiadas ya que por lo general, las estructuras están compuestas por más de un elemento y al final, trabajan todas solidariamente.

Las presas hidráulicas, aun siendo estructuras de edificación, representan de forma clara y concisa las solicitaciones anteriormente descritas. Consecuencia de ello, pueden llegar a presentar fisuraciones en mapa (por proceso álcali-sílice).

En lo que a edificios con valor patrimonial se refiere, se escribe sobre ellos más adelante (capítulo 5) de manera más detallada.

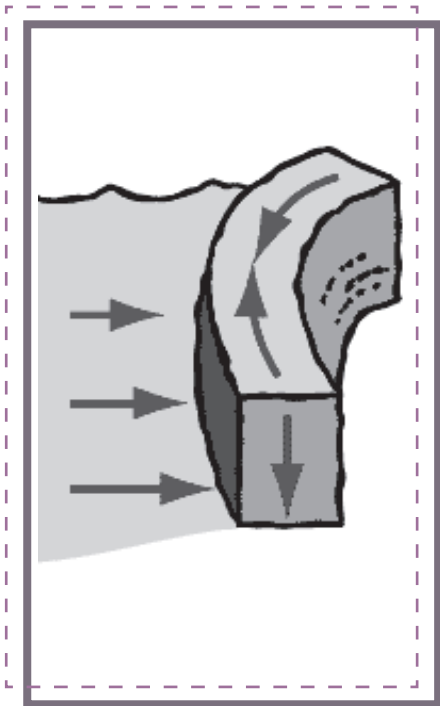


Fig. 1.43. Esquema de fuerzas en una estructura curva (presa hidráulica) de hormigón armado.



Fig. 1.44. Imagen de fisuración en mapa por fenómeno de reacción álcali-sílice en estructura curva de hormigón armado.

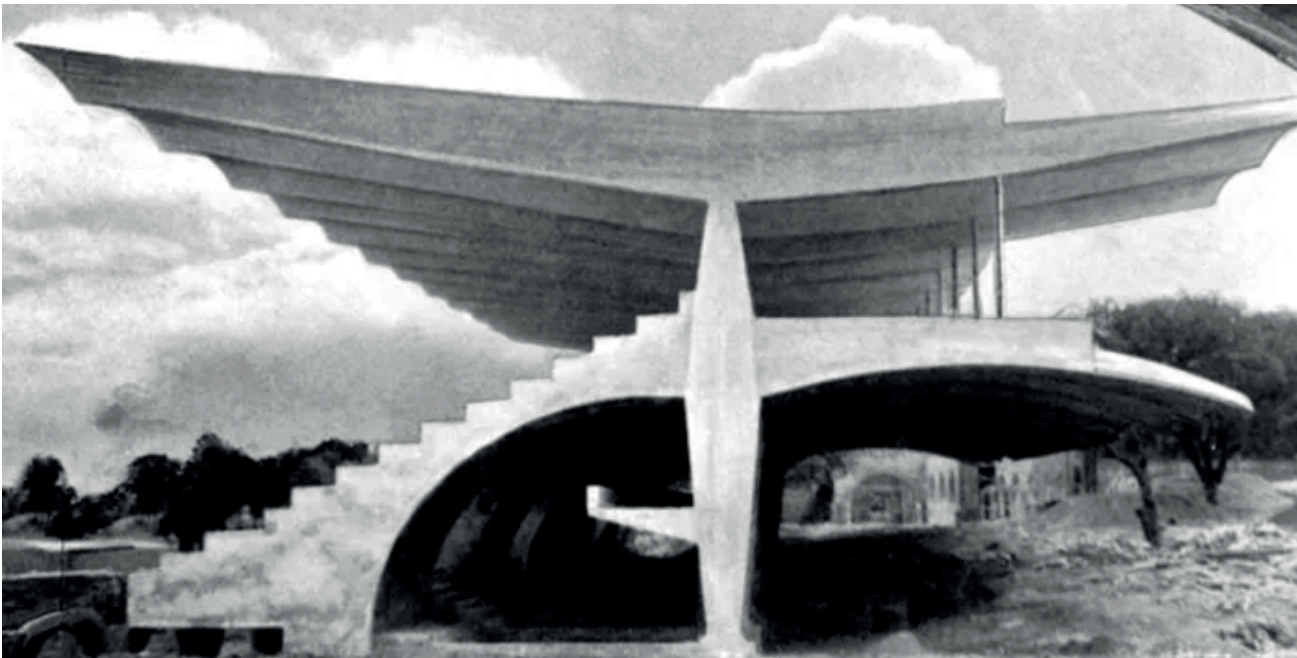
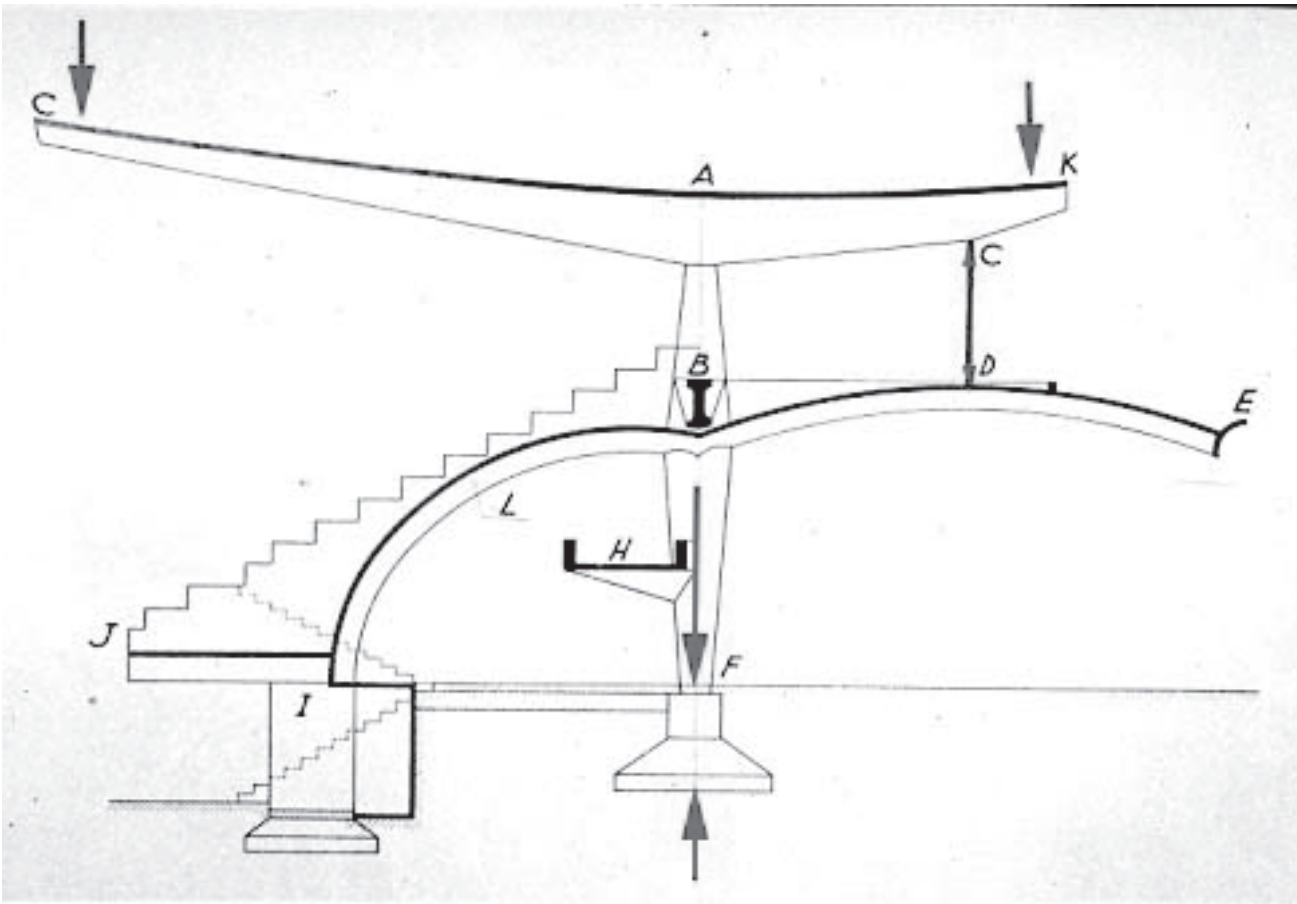


Fig. 1.45. Esquema de fuerzas en sección del Hipódromo de la Zarzuela.

Fig. 1.46. Imagen de la sección del Hipódromo de la Zarzuela.

# 2 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO



MÉTODOS

DE

DIAGNÓSTICO

////////

Los métodos de diagnóstico sirven, como el propio nombre indica, para detectar posibles patologías y/o características del material a analizar. Es importante tener en cuenta dos aspectos cruciales en lo que a métodos de diagnóstico se refiere:

/ La **combinación** de distintos métodos de diagnóstico es fundamental para así tener ciertas garantías sobre la información obtenida respecto al material. Las **correlaciones** así mismo son fundamentales ya que un mismo ensayo puede aportar no solo una propiedad, sino más al estar estas íntimamente relacionadas entre sí. Esto es, a través de la muestra extraída, y tras un ensayo por ultrasonidos, se puede determinar la porosidad del hormigón del que se ha obtenido. Una vez se conoce la porosidad del mismo, por estas correlaciones ya mencionadas, se puede obtener la resistencia del hormigón.

/ La **accesibilidad** del elemento que se vaya a estudiar es crucial ya que muros y pilares serán normalmente los más expuestos, los más accesibles, mientras que las cimentaciones presentarán más complejidades para alcanzarse y analizarse. Ocurre lo mismo que ya se mencionó en el capítulo 1 (patologías en estructuras de hormigón armado). Las áreas más expuestas serán las superficies que más daño podrían presentar.

No hay que olvidar tampoco que el presente capítulo auna los métodos de diagnóstico más comunes y que tratan de ser lo más respetuosos posibles con el material debido a que este forma parte de un bien protegido. El respeto por la preexistencia y el ánimo de preservar al máximo posible toda la integridad del material es decisivo.

/// ENSAYOS DESTRUCTIVOS \*

- // Extracción y rotura de probetas testigo de hormigón
- // Toma de muestras de armaduras
- // Profundidad de carbonatación

/// ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS \*

- // Ensayo esclerométrico o Índice de Rebote
- // Ensayos Ultrasónicos
- // Corrosímetro

/// ENSAYOS DE LABORATORIO

/// ENSAYOS PARA ESTUDIO DE TERRENO Y CIMENTACIONES

\* Información de manual extraída de : Porto Quintián, Jesús. (2005). ‘Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado. Tomo II’. Escola Universitaria de Arquitectura Técnica Universidade da Coruña.

/// ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Se trata de ensayos que mancillan el material, por lo que no se realizan de forma generalizada. Se suelen tomar pequeñas muestras del material para ajustar, de hecho, los parámetros de los posteriores ensayos no destructivos. Sirven para su calibración.

Gracias a estos ensayos se determina la capacidad mecánica resistente del hormigón y por correlación, otras de sus características como ya se ha indicado anteriormente.

// Extracción y rotura de probetas testigo de hormigón

Gracias a este ensayo, se consigue determinar la resistencia del hormigón armado endurecido. Se realiza a través de la extracción de una probeta testigo con sonda rotativa de diamante. En cuanto se obtiene, es trasladada al laboratorio para así comprobar su resistencia a compresión a través de su rotura.

Como ya se indicó anteriormente, a través de la combinación de distintos métodos (ensayos no destructivos) pueden reducirse el número de ensayos para determinar resultados concluyentes a través de la correlación.

NORMATIVA: UNE-EN 12504-1:2000 Ensayos de hormigón de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión.

// Toma de muestras de armaduras

Las armaduras que conforman una estructura de hormigón armado pueden encontrarse de dos formas distintas: bien al descubierto debido a un incendio o por una fuerte corrosión; o cubiertas por el hormigón que las recubre.

En el primer caso, la muestra se toma directamente de las armaduras que quedan a la vista mientras que en el segundo es preciso localizarlas ( a través de un pachómetro por ejemplo) primeramente para después tomar la muestra. Acto seguido se habría de sustituir el fragmento de barra que se ha tomado como muestra por otro nuevo, uniendo ambos.

NORMATIVA: UNE 36300:80 Toma de muestras y preparación de probetas para análisis químicos de productos de acero, laminados y forjados.

// Profundidad de carbonatación

Para determinar la profundidad de carbonatación (proceso explicado en el capítulo I) es preciso primero romper un fragmento del hormigón que conforma el elemento a analizar en tanto se deje la armadura expuesta. Acto seguido se rocía de una solución de fenolftaleína, ya que mediante el color que adquiere se puede indicar el pH del que dispone la muestra y por ende, su grado de carbonatación. Otro método también puede consistir en la perforación de un orificio con taladro.

NORMATIVA: UNE 112011:94 Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio.



Fig. 2.1. Imagen de barras de acero en estado de ruina del Hipódromo de la Zarzuela.

/// ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se trata de aquellos ensayos que no deterioran ni alteran las propiedades del material de forma permanente. Se combinan entre sí para poder, mediante correlaciones, obtener resultados fiables acerca de las propiedades del material en cuestión y suelen ser consecutivas a los ensayos destructivos (al haber obtenido por “destrucción” la muestra que será ensayada).

// Ensayo esclerométrico o Índice de Rebote

Este ensayo tiene como objetivo determinar la dureza relativa o superficial del hormigón a través de un percutor que incide sobre la superficie del material. Este mismo, rebota y vuelve hacia atrás una vez ha sido liberado, arrastrando una aguja que en una escala graduada, aporta el resultado.

NORMATIVA: UNE 83307:86 Ensayos de hormigón. Determinación del índice de rebote.

// Ensayos Ultrasónicos

A través de la colocación de un emisor y un receptor impregnados de melaza sobre la superficie de la muestra (previamente calibrados), se mide la velocidad de propagación de los impulsos emitidos por estos. De este modo, conociendo la velocidad de la onda emitida, el tiempo que ha tardado en llegar al receptor y la longitud de la probeta, se consigue caracterizar el hormigón que se está ensayando.

Otra aplicación interesante de los ultrasonidos es que al generar imágenes como las ecografías, se pueden reproducir estructuras en 3 dimensiones y contribuir así al mejor entendimiento de la obra.

NORMATIVA: UNE 83308:86 Ensayos de hormigón. Determinación de la velocidad de propagación de los impulsos ultrasónicos.

// Corrosímetro

Se trata de un ensayo que aporta información sobre el estado respecto a la corrosión en el que se encuentra una armadura. Gracias a la medida de potencial eléctrico existente entre un electrodo de referencia y el acero de la propia barra a estudiar, se obtiene si este fenómeno está teniendo lugar. No permite sin embargo, cuantificar la corrosión.



/// ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio son aquellos que determinan las propiedades físicas del hormigón y que aportarán mayor información acerca de su comportamiento. Algunos pueden considerarse no destructivos mientras que otros sí necesitan ser alterados para conocer otras características del estado en el que se encuentra el material.

// Densidad

Como ya se mencionó anteriormente, gracias a la correlación se pueden extraer más de un dato en un solo ensayo. Es el caso de la densidad, que va íntimamente ligada con la porosidad. No solo aportan información sobre la resistencia del hormigón sino que además, se estima que una porosidad cercana al 15% o superior, caracteriza a un hormigón como permeable. Sufrirá ataques, con altas probabilidades, en ambientes agresivos.

NORMATIVA: UNE-EN 12390-7:2000 Ensayos de hormigón endurecido. Densidad del hormigón endurecido.

// Permeabilidad

La permeabilidad del hormigón está íntimamente ligada con el grado de compactación que presente, así como la presencia de juntas, fisuras o heterogeneidades. El ensayo se realiza sumergiendo la probeta de hormigón endurecido en agua después de haber medido su peso en seco para así determinar la cantidad de agua absorbida.

Se trata de un ensayo muy beneficioso en cuanto a estructuras de contención de aguas o líquidos en general se refiere.

NORMATIVA: UNE 83310:90 Ensayos de hormigón. Determinación de la permeabilidad.

// Contenido de cloruros

Este ensayo es altamente beneficioso para conocer la presencia de cloruros en torno a las proximidades de las armaduras, tanto si proceden de los componentes del mismo hormigón como si penetraron después en este. El ensayo se realiza a través de verter una disolución de nitrato de plata a la descomposición del hormigón diluido con ácido nítrico. Si se precipita cloruro, es que hay presencia de estos en el área de hormigón analizado.

NORMATIVA: UNE 112010:94 Corrosión en armaduras. Determinación de cloruros en hormigones endurecidos y puestos en servicio.

// Contenido de sulfatos

Tal y como ocurre por la oxidación de las barras de acero del hormigón armado, la presencia de sulfatos combinados con aluminato tricálcico genera etringita, y por ende, un componente que aumenta su volumen. La expansión de este compuesto es capaz de provocar la fisuración del hormigón.

Para realizar este ensayo, se tritura el hormigón endurecido y se recurre al ensayo de determinación de sulfatos en el cemento ya que no existe uno específico para el hormigón.

NORMATIVA: UNE-EN 196-2: 1996 Métodos de ensayos de cemento.

/// ENSAYOS PARA ESTUDIO DE TERRENO Y CIMENTACIONES

En cuanto a cimentaciones y muros de contención se refiere, estos necesitan ser inspeccionados y valorados mediante otro tipo de ensayos ya que su accesibilidad no es la misma que la de los elementos por encima de rasante. Se hace pues compleja la tarea.

Los siguientes ensayos son muy beneficiosos para situaciones de asientos en los que es necesario conocer los estratos del terreno.

// Ensayo cross-hole

Se trata de un sistema geofísico a través del cual se detectan los tiempos de transmisión de ondas tangenciales SV (vibración de las partículas del terreno en la dirección vertical), registrándose los mismos desde un martillo de cizalla en el terreno con distancias de entre 3 y 10 metros.

// Ensayo down-hole

Se trata de un sistema geofísico a través del cual se detectan los tiempos de transmisión de ondas tangenciales SH (vibración de las partículas del terreno en la dirección horizontal), registrándose los mismos desde un martillo exterior con distancias de entre 2 y 5 metros.

// GeoRadar

Se trata de un sistema geofísico a través del cual se puede conocer la estructura del suelo a través de la transmisión de impulsos electromagnéticos y la posterior recepción de las reflexiones generadas por las posibles discontinuidades en el terreno.

Se mencionan también otros métodos de carácter genral empleados para el estudio de las características del terreno como las catas o pozos, los análisis in situ del terreno o los estudios geotécnicos.

En cuanto a las características de la cimentación se refiere, existen algunos ensayos como el estudio de dimensiones a través de catas o pozos, el estudio de las características constructivas de la cimentación o el estudio del estado de conservación de la cimentación una vez se ha ejecutado por ejemplo una cata o un pozo.

// Catas y pozos

Se tratan de técnicas de prosepcción del terreno realizadas mediante excavaciones a través de las cuales se pueden extraer muestras que posteriormente sean analizadas en el laboratorio ( color, olor, litología de las gravas o trozos de roca, presencia de escombros o materiales artificiales, etc ). Permiten una observación pues directa del terreno y se recogen en el CTE-DB SE-C.

// Sondeos mecánicos

Se trata de perforaciones tanto de diámetros como profundidades variables que sirven para conocer la localización y la naturaleza de las unidades geotécnicas del terreno. Permiten así mismo extraer muestras a diferentes alturas y consecuentemente, someterlas a ensayos. Están recogidas también en el CTE-DB SE-C.

// Estudio geotécnico

Se trata *del compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesaria para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de éste u otras obras.*<sup>3</sup> Este debe contener los resultados y todos los datos de la investigación geológico-geotécnica acometida así como la documentación tanto gráfica como escrita para la definición de las condiciones del terreno.

<sup>3</sup> . Cita extraída de : Pérez Valcárcel, Juan. (-). *Inspección y validación de cimentaciones*. La Coruña: E.T.S.A de la Coruña.



# **3** PRINCIPALES TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN

# PRINCIPALES TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN

Se comienza este apartado mencionando las **técnicas tradicionales** que usualmente se emplean en obras de ingeniería civil. Pueden empezar a clasificarse estas mismas en función de ciertos puntos clave. Primeramente, y para la mejor comprensión del futuro protocolo de intervención, se pueden distinguir dos tipos de técnicas tradicionales en una primera aproximación: restituciones o reposiciones y refuerzos.

Las primeras, las *restituciones o reposiciones*, se realizan como consecuencia de problemas de durabilidad y/o corrosión en las armaduras que refuerzan las estructuras de hormigón. Se llevan a cabo como consecuencia directa de las cargas de servicio u otras cargas accidentales que pongan en jaque a la estructura.

Los segundos, los *refuerzos*, se realizan bien porque las características del material empleado no fue la más adecuada (problemas en la ejecución, dosificaciones incorrectas...etc) o bien porque no se calcularon adecuadamente las acciones que afectarían a la estructura, pudiendo estas evolucionar en cuanto a sus características se refiere.

Para una correcta estrategia de intervención hay que tener muy en cuenta las **causas** que han provocado el deterioro o el problema que se pretende tratar para una correcta identificación del problema. Además, el factor de la compatibilidad de materiales es fundamental en este tipo de intervenciones, ya que en ocasiones, lejos de mejorar se puede incluso agravar el problema. La **compatibilidad** debe englobar ciertas propiedades físico-mecánicas como lo son: el coeficiente de dilatación térmica / módulo de elasticidad y propiedades reológicas como la retracción y la fluencia. Estas últimas propiedades se refieren a la reología, aquella parte de la física que estudia la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y el derrame de la materia, usualmente estudiadas a través de un reómetro.

Otras propiedades a destacar también para una correcta estrategia de intervención serían la adhesión, ya que cualquier añadido debe poder adherirse al hormigón preexistente; el no empleo de procesos de endurecimiento y curado exotérmicos para así evitar en cualquier deformación posible de la preexistencia; comportamiento adecuado para las condiciones ambientales a las que será expuesto; y resistencia a radiaciones ultravioletas. Además, es crucial también el análisis de las condiciones tensionales del elemento a intervenir durante la vida de servicio de la estructura.

## TÉCNICAS TRADICIONALES\*

### /// SISTEMAS DE RESTITUCIÓN O REPOSICIÓN

- // **Tratamiento de fisuras**
  - / Causas y origen de las fisuras
  - / Factores para la selección del tratamiento
  - / Metodología de reparación de fisuras. Tratamientos

- // **Morteros de restitución**
  - / Situaciones de empleo
  - / Tipos
  - / Metodología de reparación
  - / Ventajas y desventajas

- // **Morteros y hormigón proyectado**
  - / Situaciones de empleo
  - / Procedimientos
  - / Ejecución en hormigón proyectado
  - / Ventajas y desventajas

### /// SISTEMAS DE REFUERZO

- // **Sustitución de un hormigón por otro de mejor calidad**

- // **Recrecido de secciones**
  - / Situaciones de empleo
  - / Procedimientos
  - / Ventajas y desventajas

- // **Refuerzo con chapas metálicas encoladas al hormigón**
  - / Situaciones de empleo
  - / Procedimientos
  - / Ventajas y desventajas

- // **Otros sistemas de refuerzo**

### /// PROTECCIÓN SUPERFICIAL DE LA REPARACIÓN

## TÉCNICAS INNOVADORAS

### /// REALCALINIZACIÓN. EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE LOS CLORUROS

\* Información extraída de : Rodríguez-García, Fernando. (1998). *Rehabilitación de estructuras de hormigón: técnicas y sistemas*. RE. Revista de Edificación, 28, 39-47.



TÉCNICAS TRADICIONALES  
/// SISTEMAS DE RESTITUCIÓN O REPOSICIÓN

// Tratamiento de fisuras

La aparición de fisuras se trata de una de las patologías más frecuentes y cuyo origen más incierto puede resultar debido a que la naturaleza de estas fisuras puede ser muy variada.

/ Causas y origen de las fisuras

Las fisuras se crean debido a que se ha producido un inadecuado comportamiento de la estructura frente a un estado tensional de tracciones que el hormigón no ha sido capaz de soportar. Esto además conlleva otra clase de problemas como son la gran permeabilidad relativa en esos puntos, por los que penetran sustancias agresivas al interior el hormigón pudiendo acelerar así problemas de durabilidad.

/ Factores para la selección del tratamiento

A la hora de seleccionar un tratamiento para atajar esta patología, como se indicó anteriormente, es crucial conocer primeramente las condiciones en las que estas fisuras han aparecido y las características de estas, su origen.

El primer factor a tener en cuenta para una buena selección se trata de conocer la naturaleza de las fisuras en cuanto a su estabilidad en el tiempo. Se pueden distinguir fisuras *muertas* y las *vivas*. Las primeras se caracterizan porque su anchura permanece constante mientras que las segundas, las vivas, son aquellas que siguen aumentando sus dimensiones en el tiempo.

El segundo factor a considerar se trata de la geometría de las fisuras, es decir, caracterizar su anchura y profundidad.

El tercer y último factor se trata de conocer las solicitaciones a futuro a las que va a estar sometida la estructura.

/ Metodología de reparación de fisuras. Tratamientos

Dependiendo de la naturaleza de las fisuras, se pueden distinguir dos métodos principales por los que tratarlas: el sellado y la inyección.

El *sellado* de fisuras es conveniente emplearlo para aquellas de naturaleza viva. Consta de tres fases: primero, el cajado de la fisura limpiando los labios de la misma; segundo, la limpieza general de la fisura; y tercero, el sellado con masilla elástica. Esta técnica de sellado puede aplicarse como una banda elástica que puntee la fisura o bien puede penetrarla para así absorber los movimientos que sean previsibles en la fisura, ya que al ser ésta de naturaleza viva, se esperará que siga creciendo.

La *inyección* de fisuras se aplica para fisuras de naturaleza muerta. Una vez se ha limpiado la fisura, se colocan los inyectores, se sella y por último, se inyecta. Esta puede ser total o parcial.

Uno de los puntos importantes de este método es la presión de inyección ya que depende de la anchura de la fisura, el taladro de la inyección y la viscosidad dinámica del producto.

Este tratamiento puede resultar altamente beneficioso para las siguientes patologías:

- [ P.3 ]. Aplastamiento por compresión del pilar: una vez reforzado, para sellar las fisuras que aparecen.
- [ M.1 ]. Rotura a flexión: una vez colocada la armadura requerida, se procede a sellar las fisuras.
- [ M.2 ]. Aplastamiento del hormigón: después del refuerzo por recrecido, se sellan las fisuras que han aparecido.
- [ F.3 ]. Aplastamiento de las cabezas de las vigas: inyección de resinas en las fisuras.
- [ M.E.1 ]. Fisuración por deformación de forjados: sellado de las fisuras originadas.
- [ M.E.2 ]. Fisuración por asiento plástico del hormigón: sellado de fisuras.
- [ C.1 ]. Asiento de una cimentación corrida: reparación de grietas una vez se ha hecho el recalde de la cimentación.
- [ M.C.2 ]. Retracción de un muro de contención: sellado de fisuras.
- Elementos curvos: si se produce una fisuración en mapa, se sellan.

// Morteros de restitución

/ Situaciones de empleo

Ante situaciones cuyo origen se establezca en fallos de durabilidad (corrosión de armaduras por ejemplo) o por una capacidad mecánica insuficiente (mala calidad del hormigón o cambio en el uso de la estructura del elemento por ejemplo), es adecuado emplear morteros de restitución.

Se emplean sobre todo para reposición o recrecido de secciones de hormigón mediante el aporte de nuevo material. Este material ha de contar con las características físico-mecánicas adecuadas para no ocasionar después problemas de compatibilidad.

/ Tipos

*Morteros y hormigones hidráulicos*, aquellos morteros convencionales predosificados. Previo a la ejecución de la reparación con estos morteros, es necesaria una película de imprimación para así garantizar la adhesión con el hormigón preexistente.

*Morteros hidráulicos poliméricos*, aquellos morteros hidráulicos a los que se les han añadido polímeros entre un 5 y 20%. Sus propiedades se ven modificadas respecto a los morteros hidráulicos en función del polímero que se le añada. Gracias a ellos, presentan una mejor adherencia al soporte, mayor compacidad y mayor resistencia a tracción y flexotracción. Otras propiedades como su resistencia a compresión, el módulo de elasticidad o el coeficiente de dilatación térmica no sufren apenas modificaciones debido a la adición de polímeros.

*Morteros poliméricos termoestables*, aquellos morteros con añadidos de resinas epoxídicas o de poliéster. Pueden ser de dos tipos en función del polímero empleado: morteros epoxi (polímero de naturaleza epoxídica) y morteros de resina poliéster (polímero de resina de poliéster). Los primeros (*morteros epoxi*) se caracterizan por poseer características mecánicas muy elevadas que se logran en un período de tiempo muy reducido. Los segundos (*morteros de resina poliéster*) presentan un endurecimiento veloz.

/ Metodología de reparación

El límite adecuado para el empleo de este sistema es que la zona a tratar tenga un espesor superior a tres veces el tamaño máximo del árido. De lo contrario, no se podría asegurar la eficacia de los morteros. La relación de agua y cemento deberá ser baja además de ser recomendable el uso de aditivos plastificantes. De esta forma, la puesta en obra será más sencilla. En caso de estar en zonas de hielo y deshielo, los aditivos que deberían incorporarse serían aireantes.

• ***Daño por corrosión de armaduras.*** La corrosión de los metales es un proceso químico o electroquímico en el que el metal se transforma en un óxido o cualquier otro compuesto. Esto provoca un aumento de volumen en las armaduras del hormigón, el cual genera posteriormente fisuras. Las reparaciones de daños originados por la corrosión de armaduras, desde fisuraciones a pérdidas de recubrimiento y de sección de armadura, siguen normalmente el siguiente proceso:

***1. Saneado del hormigón armado.*** Mediante medios mecánicos como el picado o el cepillado se procede a la eliminación del hormigón que no esté sano (profundidad mínima a 2-3 cm). Adicionalmente se le somete a un chorro de arena para eliminar cualquier resto de material indeseable en la superficie.

***2. Limpieza y pasivación de las armaduras.*** Es un proceso por el cual se eliminan los restos de óxido de las armaduras y se protegen las armaduras. Suele realizarse el primero por chorro de arena y el segundo por medio de productos como pastas modificadas con polímeros y resinas que crean películas protectoras continuas e impermeables. En caso de que la sección de la armadura se haya visto demasiado menguada, será necesario sustituirla para así no poner en riesgo la capacidad mecánica de la pieza.

***3. Recuperación de la sección de hormigón.*** Se emplean en esta fase los morteros de reparación. En caso de que el volumen sea el adecuado, podrían utilizarse hormigones proyectados en vez de morteros [ver apartado 3. Mortero y hormigón proyectado]. El método de ejecución abarca los siguientes procedimientos en función del caso: encofrado convencional y hormigonado / aplicación con llana de sucesivas capas / hormigón pre-pack.

***4. Protección de las superficies reparadas.*** Se realiza mediante una pintura de protección que reviste y protege la superficie de la estructura.



• **Restitución de sección por otros daños.** En estos otros daños pueden incluirse impactos y erosiones. El proceso de reparación es igual al mencionado anteriormente, teniendo como única diferencia la referencia de la reparación, que no son ya las armaduras. El volumen no estaría ya ligado a estas sino al tamaño de daños encontrados, y tampoco habría que aplicar ninguna protección a las armaduras.

/ Ventajas y desventajas

*Morteros y hormigones hidráulicos:* una de las mayores ventajas de los morteros es su bajo precio, su idoneidad para grandes volúmenes de reparaciones y la facilidad de ejecución que poseen. Necesitan, no obstante, una película de imprimación previa a su aplicación.

*Morteros hidráulicos poliméricos,* quienes debido al añadido de polímeros, pueden modificar sus propiedades para un mejor comportamiento físico con la preexistencia. No aporta mejoras sin embargo a todas las características importantes en relación a la compatibilidad del material.

*Morteros poliméricos termoestables. Epoxi.* Sus propiedades mecánicas son muy elevadas en poco tiempo. Por otro lado, su precio es muy elevado y su uso está restringido a volúmenes más limitados. Presenta un deficiente comportamiento al fuego.

*Morteros poliméricos termoestables. De resina de poliéster:* Su empleo es menor y una de sus grandes ventajas es que no necesita imprimación previa. Presentan un rápido endurecimiento, que si bien pueden puede ser considerada una ventaja, también puede resultar un inconveniente para su empleo.

Este tratamiento a base de morteros de restitución puede resultar altamente beneficioso para las siguientes patologías:

- [ P.1 ]. Desagregación del hormigón por ataque químico: eliminación de la causa del problema (o sustitución) y posterior aplicación de morteros.
- [ P.2 ]. Corrosión en la armadura de un pilar.
- [ P.3 ]. Aplastamiento por compresión del pilar: refuerzo del elemento por recrecido de sección a través del empleo de mortero.
- [ V.1 ]. Corrosión de las armaduras de las vigas.
- [ V.2 ]. Aplastamiento por compresión del hormigón de viga: refuerzo por recrecido.
- [ V.3 ]. Deformación excesiva o flecha de viga: refuerzo de viga para mayor rigidez.
- [ M.2 ]. Aplastamiento del hormigón: refuerzo por recrecido.
- [ F.1 ]. Corrosión de armaduras en viguetas.
- [ F.2 ]. Aluminosis en viguetas pretensadas.
- [ M.E.1 ]. Fisuración por deformación de forjados: directamente relacionado con V.3.
- [ M.C.1 ]. Deslizamiento de muro de contención: aumento de la sección por recrecido.

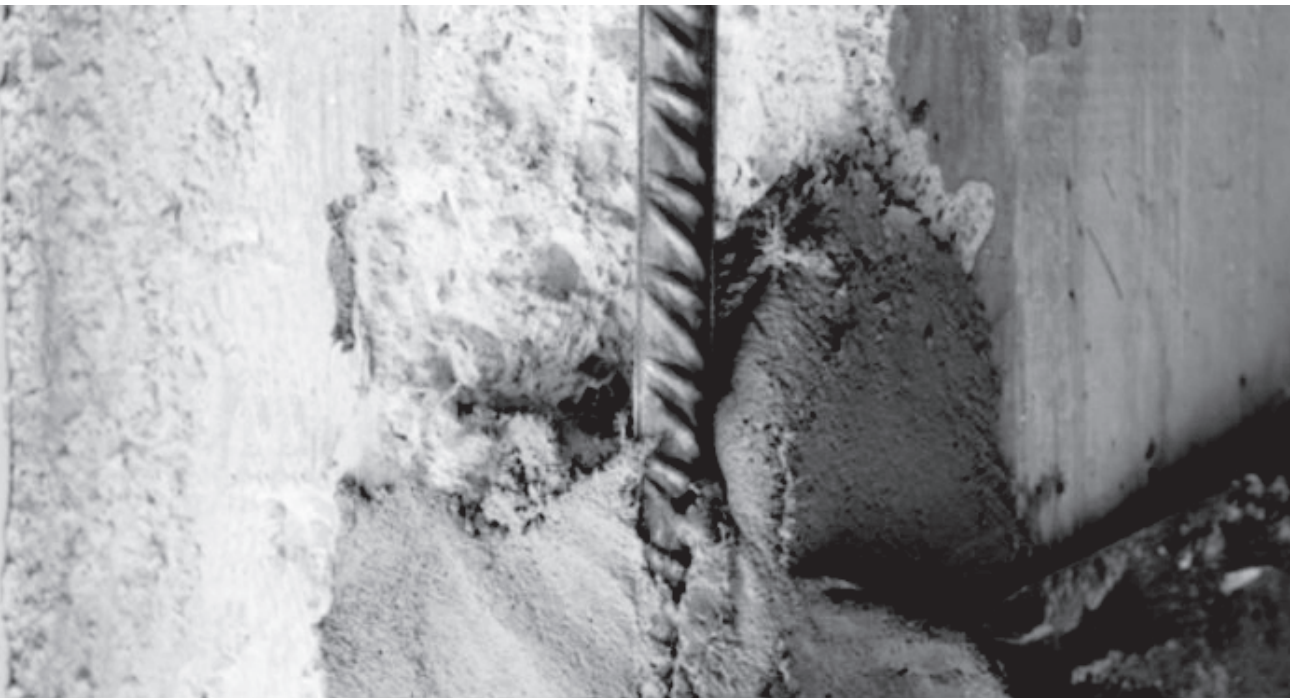


Fig. 3.1. Imagen de empleo de mortero de restitución sobre patología [P.2], corrosión en la armadura de un pilar de hormigón armado.

// Mortero y hormigón proyectado

/ Situaciones de empleo

Como se vio en la metodología de reparación de los morteros de restitución, en ocasiones tras el saneado, la limpieza y la pasivación de las armaduras, el volumen a reponer es bastante importante, por lo que se pueden emplear morteros y hormigones proyectados.

/ Procedimientos

El proceso consiste en la colocación continua de hormigón mediante su lanzamiento a presión sobre la superficie en la que se está actuando. Para estos hormigones que van a ser proyectados se busca que el tamaño del árido sea inferior a 10mm. Es conveniente que las adiciones empleadas sean microsílices para minimizar el rebote (consecuencia del rechazo que se genera al por el impacto de los áridos sobre el preexistente hormigón) y por el mismo motivo, que la relación de árido / cemento sea de 4 para así una vez colocado quede en valores de 2 y 3. Además, se están empleando fibras de acero ya que mejoran el comportamiento mecánico final y ayudan contra el rebote.

Existen dos procedimientos para llevar a cabo la proyección del hormigón:

*Proyección por vía seca.* En este procedimiento se mezclan todos los componentes del hormigón, salvo el agua. Esta mezcla viaja a presión a través de una manguera hasta su boquilla de salida, donde se le incorpora el agua justo antes del lanzamiento de la mezcla. Es conveniente que los áridos posean cierta humedad, para facilitar así su transporte por la manguera.

*Proyección por vía húmeda.* En este proceso sí se controla la dosificación de la mezcla ya que esta es preparada previamente y después se transporta mediante las mangueras a presión.

/ Ejecución en hormigón proyectado

En las situaciones en las que es necesario ejecutar volúmenes muy elevados, se deberán disponer diferentes tongadas con espesores que no superen los 25 mm generalmente.

Para evitar en la medida posible el rebote ya mencionado anteriormente, se disminuye en función de:

- Experiencia del operario.
- Ángulo de inclinación de la proyección, mínima en planos verticales.
- Distancia a la que se aplica la proyección (en torno a 1m de distancia)
- Uso de aditivos.
- Empleo de microsílices.
- Uso de fibras de acero.

/ Ventajas y desventajas

Como ventajas a nivel general de los morteros y hormigones proyectados, se destaca su alto rendimiento y competitividad. Sin embargo, esta técnica presenta los inconvenientes del rebote y la problemática asociada a las zonas de sombra por la presencia de las armaduras.

Como desventajas más particulares de la *proyección por vía seca* se destaca que no se controla la dosificación de la mezcla (ya que esta es incorporada al momento en el que sale por la boquilla de la manguera la mezcla) y que las condiciones de trabajo para el operario son bastante penosas.

Como ventajas particulares de la *proyección por vía húmeda* es que conlleva mejores condiciones de trabajo para el operario, genera menos polvo y produce un menor rebote además de poder controlar mejor la dosificación. Es por estas razones por las que este sistema se prefiere al anterior.

Este tratamiento a base de morteros y hormigones proyectados puede aplicarse a los mismos casos que los ya mencionados en el apartado anterior, el de morteros de restitución. La única diferencia reside en el volumen a reponer, que en este caso, es bastante más considerable.



/// SISTEMAS DE REFUERZO

// Sustitución de un hormigón por otro de mejor calidad

Este tipo de procedimiento se contempló ya en el punto anterior, en el que se trató la recuperación de secciones de hormigón dañadas por corrosión de armaduras y restitución de la sección por otros daños.

// Recrecido de secciones

/ Situaciones de empleo

Se trata de un procedimiento empleado con bastante frecuencia que consiste en aumentar la capacidad mecánica del elemento a tratar a través del aumento de las dimensiones de un hormigón de buena calidad. Usualmente en este método también se incorpora nueva armadura que se integra en la nueva sección.

/ Procedimientos

Primeramente se debe apeaar el elemento para liberarlo de las cargas que transmite. Después se picaría el hormigón existente y se incorporarían las barras principales necesarias, bien mediante el soldado o el anclado. A continuación se añadirían los estribos y se aplicaría una capa de imprimación con resina epoxi (para mejorar así las condiciones de la interfase entre el hormigón preexistente y el que se va a incorporar). Por último se aplicaría una capa de protección para la nueva superficie.

/ Ventajas y desventajas

El espesor mínimo a recrecer mediante este procedimiento es de 5 cm en caso de hormigón proyectado o 10 cm en el caso del hormigón encofrado convencional.

Este sistema es beneficioso para los mismos daños descritos en en morteros de restitución.

// Refuerzo con chapas metálicas encoladas al hormigón

/ Situaciones de empleo

En ocasiones el recrecido del hormigón no es posible o resulta inconveniente. En esos casos puede considerarse la aplicación de la armadura adicional necesaria en forma de chapas metálicas, adheridas a la superficie del hormigón.

/ Procedimientos

El refuerzo mediante chapas encoladas permite reforzar cualquier elemento (tanto a flexión como a cortantes). Es, por lo tanto, crucial la unión que se logre entre la chapa y el hormigón preexistente. Ello se verá condicionado por la calidad de la resina que actúe como adhesivo, el estado del hormigón sobre el que se actuará y la calidad del acero.

Primeramente se ha de preparar la superficie a tratar, para que así el adhesivo pueda funcionar en sus mejores condiciones. Cabe destacar que esta superficie debe cumplir con la planeidad suficiente para así garantizar un buen contacto de las chapas metálicas.

Acto seguido, se deben preparar las mencionadas chapas metálicas con un tratamiento que evite la corrosión. Estas no deben superar el ancho de 3mm.

Después, se aplica el adhesivo, siendo este normalmente una resina epoxi. Por último se coloca la chapa aplicando presión sobre las mismas a través de puntales, cuñas o gatos.

/ Ventajas y desventajas

Las ventajas de este procedimiento son la rapidez, sencillez en obra además de mínimos cambios en las dimensiones del elemento y versatilidad frente al tipo de esfuerzos.

Las desventajas radican en que se necesitan materiales de alta calidad para garantizar un buen rendimiento, con temperaturas de trabajo limitadas inferiores a los 70°C. Se necesita mano de obra muy especializada y no es recomendable la presencia de humedad.

### // Otros sistemas de refuerzo

En los últimos tiempos han aparecido nuevos materiales que mejoran, modifican o incluso sustituyen a los procedimientos convencionales. Estos están basados en refuerzos con fibras de carbono en matriz de polímeros (CFRP), en las que las bandas de fibra de carbono en matriz de resina sigue el mismo principio de las chapas encoladas pero con la ventaja de sus altas prestaciones mecánicas, su sencillez de manejo y aplicación y el no sufrir procesos de corrosión.

Otro sistema de refuerzo es la aplicación de camisas de fibra de carbono, las cuales se aplican mediante máquinas especiales que encamisan un elemento, lo zunchan y así disponen el aumento de las capacidades mecánicas del elemento en cuestión.

Este tratamiento a base de refuerzos es altamente beneficioso para los siguientes daños:

- [ P.3 ]. Aplastamiento por compresión del pilar: refuerzo del elemento por perfiles de acero.
- [ V.2 ]. Aplastamiento por compresión del hormigón de viga: refuerzo por perfilería.
- [ V.3 ]. Deformación excesiva o flecha de viga: refuerzo de viga para mayor rigidez.
- [ M.2 ]. Aplastamiento del hormigón.
- [ M.E.1 ]. Fisuración por deformación de forjados: directamente relacionado con V.3.



Fig. 3.2. Imagen de refuerzo por perfilería metálica de un pilar de hormigón armado.



/// PROTECCIÓN SUPERFICIAL DE LA REPARACIÓN

Una vez se han efectuado las operaciones de refuerzo o reparación de la estructura es importante proteger superficialmente. Le aporta, además, de homogeneidad de aspecto entre la zona reparada y el resto de la estructura.

Esta protección es necesario que resista a la carbonatación (mediante pinturas anticarbonatación), que sea permeable al vapor de agua (ya que así se evitan deterioros por la humedad interna del propio hormigón) y que además posea capacidad de puenteo de las fisuras.

/// MANTENIMIENTO

Es también importante mencionar que un buen mantenimiento de las estructuras de hormigón evita futuros daños más complejos o costosos de reparar.

Una limpieza cada cierto tiempo a base de chorro de agua o sílice, junto con la eliminación de posibles depósitos salinos a través de un cepillado pueden evitar daños por corrosión y carbonatación. La razón es que evita el paso de sustancias que desencadenan los mencionados procesos por la eliminación de las mismas al irse acumulando sobre la superficie del hormigón.

/// SISTEMAS DE RECALCE

Existen tres formas de proceder para reparar el daño de una cimentación según la naturaleza de esta o la calidad del firme. La primera de ellas es el *refuerzo*, solución que se lleva a cabo cuando la cimentación es deficiente (bien por deterioro o mala ejecución) pero la superficie de apoyo sí es suficiente. La segunda, la *ampliación* de la cimentación, se emplea cuando el área de apoyo es insuficiente (y aunque la cimentación esté en buen estado). La tercera y última se trata de la *sustitución*, aquella empleada para cuando la reparación y/o la ampliación sean inviables por el gran deterioro.

Estos sistemas de recalce son beneficiosos para todas los daños anteriormente mencionados en lo que a cimentaciones se refiere [ C.1 - C.4 ].

A continuación se recoge en una tabla clasificando las principales soluciones en función de la naturaleza del cimient, la profundidad del recalce y el tipo.

Cimentación existente	Profundidad del recalce	Tipo de recalce	Solución empleada
Superficial	Superficial	Refuerzo	Inyección Inyección confinada entre tablestacas Inyección confinada entre muretes Introucción de armaduras
		Ampliación	En el contorno Por debajo Mejora del terreno
		Sustitución	Zapatas corridas Zapatas aisladas Punteado
	Profundo	Por pozos	Por pozos
		Pilotes	Pilotes Micropilores Pilotes especiales
		Construccion de sótanos	Bataches Pozos Muros decendientes Micropilotes
Profunda	Profundo	Pilotes	Pilotes

Fig. 3.3. Cuadro de clasificación de soluciones para recalces en cimentaciones de hormigón armado.

**TÉCNICAS INNOVADORAS**

Estas técnicas tradicionales de intervención pueden resultar en ocasiones algo complejas de aplicar, bien por las desventajas que le suponen al operario o porque se han quedado obsoletas al haber aparecido otros materiales y métodos de intervención. Además, muchas de ellas están mayormente dirigidas a la intervención en estructuras de ingeniería civil. A continuación se mencionan algunos de los métodos más innovadores de actuación que pretenden ampliar el espectro de técnicas de intervención en el hormigón armado y sobre todo, de aplicación directa a la arquitectura.

**/// REALCALINIZACIÓN. EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE LOS CLORUROS**

Se trata de dos técnicas de reparación para estructuras de hormigón armado en las que las armaduras han sido atacadas por la corrosión. La realcalinización se aplica a aquellas estructuras carbonatadas, restaurando así los valores óptimos de pH del hormigón en contacto con las armaduras. La extracción electroquímica de cloruros a su vez se aplica a aquellas estructuras contaminadas por cloruros. Restaura la concentración de estos, que a su vez permiten la repasivación del acero.

Estas dos técnicas dependen en demasía del tipo de hormigón y la geometría de la estructura, así como los efectos secundarios a largo plazo. Es por esta última razón que se trata de una técnica innovadora, pues ha sido desarrollada en un tiempo relativamente reciente. Funciona igual que la protección catódica, esto es, a través de la circulación de corriente continua entre un ánodo y un cátodo, siendo este último la armadura en cuestión. Sin embargo, contrario a esta, que debe operar desde el instante en el que se aplica hasta el final de la vida de servicio de la estructura, tanto la realcalinización como la extracción electroquímica de los cloruros duran un tiempo limitado. Estos tiempos pueden oscilar de una semana a tres meses. Además, cabe destacar que el ánodo (dispositivo externo a la propia estructura) en una protección catódica queda siendo integrante de la estructura mientras que en estos dos procesos mencionados, se trata de dispositivos temporales.



Fig. 3.4. Imagen de operario en proceso de realcalinización.

Fig. 3.5. Imagen de superficie en proceso de realcalinización.

# **4** PROPUESTA DE PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN



PROPUESTA DE PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

////////

A continuación y como conclusión del trabajo previo realizado, se expone una propuesta de protocolo de intervención para todo aquel patrimonio construido en hormigón armado del s.xx. Este consta de fases distinguidas y de una primera línea que sería la más común de actuación.

/// DOCUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN

Es importante distinguir una primera etapa que si bien puede no tenerse en ocasiones en cuenta por no englobarse dentro de las actuaciones físicas, resulta crucial para todo el patrimonio. Cobra una vital importancia conocer aquellas construcciones susceptibles a ser objeto del registro patrimonial de bienes culturales del s.xx, la **IDENTIFICACIÓN PATRIMONIAL**. Es por ello que establecer un **MARCO CONTEXTUAL** en el que englobar temporal y espacialmente a los mismos también ayuda a formar conciencia en la sociedad acerca de la importancia de la conservación de su entorno.

Fomentar la **INVESTIGACIÓN**, el estudio de nuevos métodos y técnicas para intervenir en patrimonio es también una actividad necesaria, destacando los **criterios** que se emplean a la hora de actuar de una forma u otra.

Tanto antes como después de finalizar una intervención es sumamente importante registrar todos y cada uno de los cambios y decisiones que se han tomado en la misma. De esta forma, cualquier otro profesional podrá acceder al **REGISTRO DE INTERVENCIONES PATRIMONIALES** para valorar.

/// INSPECCIÓN PRELIMINAR

A través de un primer **EXAMEN VISUAL** y tras los pertinentes **ANÁLISIS Y ENSAYOS** para conocer de manera general, el estado en el que se encuentra el inmueble, se procede a realizar un primer diagnóstico.

/// PREDIAGNÓSTICO

Tras la inspección preliminar y una vez determinado el estado del inmueble, pueden ocurrir dos casos: que el **ESTADO** sea **CRÍTICO** y sea imperiosa una **INTERVENCIÓN URGENTE**; o que el **ESTADO** sea **ADMISIBLE** y se pueda necesitar mayor información. Si no es el caso, se procede a una **EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO** finales. Si se necesitase mayor información, entonces se procedería a una inspección detallada.

/// INSPECCIÓN DETALLADA

Una vez en esta etapa, se procede a documentar las distintas patologías que presente el inmueble para así poder generar un **REGISTRO** de los daños que pueda presentar. Es por ello que se toman fotografías y croquis para un mejor análisis. A continuación, y gracias al previo conocimiento sobre las patologías más frecuentes en este tipo de patrimonio, se establecen **CONCLUSIONES** para así poder comenzar a generar un plan de trabajo.

/// PLAN DE TRABAJO

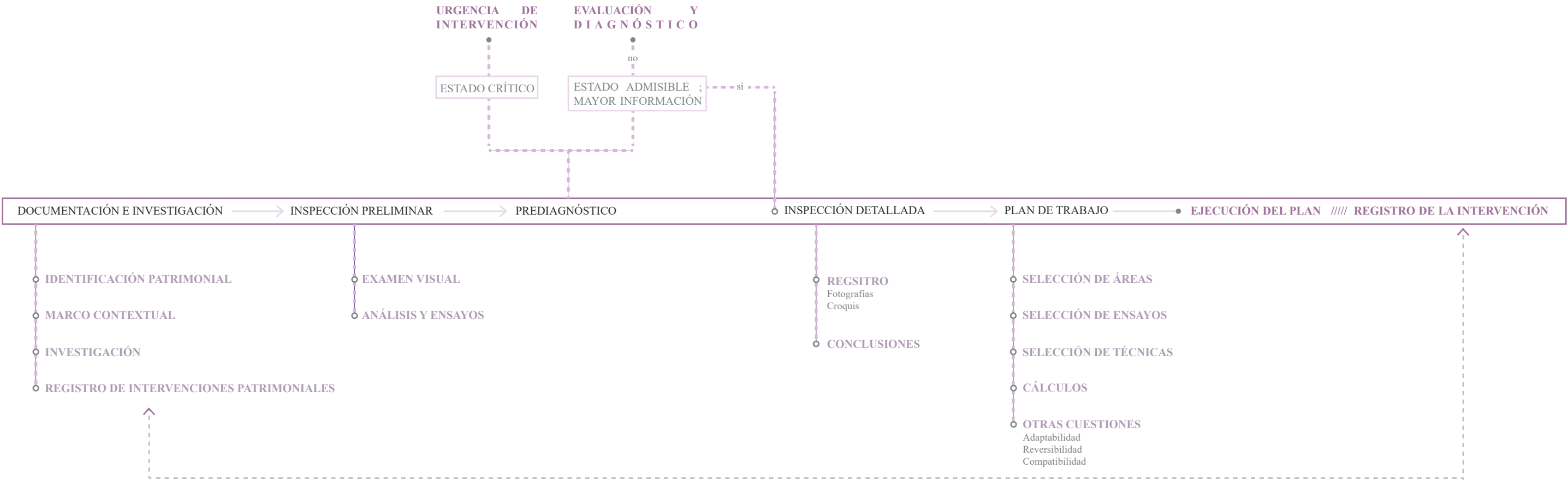
En cuanto los daños y su gravedad han sido definidos, se plantea una propuesta de intervención cuya meta es eliminar el origen de los daños para después, actuar de manera que se prevenga la génesis de nuevos deterioros.

Para ello, es importante hacer una correcta **SELECCIÓN DE ÁREAS** en las que se va a intervenir, así como la **SELECCIÓN DE ENSAYOS** que sea lo más respetuosa y menos invasiva posible. Ocurre lo mismo con la **SELECCIÓN DE TÉCNICAS** de rehabilitación, por lo que es imprescindible un amplio y exhaustivo conocimiento tanto de ensayos como técnicas de rehabilitación, pues solo así se elegirá lo más óptimo.

En tanto sea necesario, se crearán **CÁLCULOS** para responder a la posible demanda de solicitudes que la estructura pueda presentar.

Por último pero no menos importante, es necesario tener siempre en mente **OTRAS CUESTIONES** acerca de la intervención en el patrimonio histórico, los tres principios por los que se deben regir las actuaciones: la **adaptabilidad** de la intervención, su **compatibilidad** con lo preexistente y su **reversibilidad** en caso de que se encuentre en el futuro una mejor técnica con la que actuar.

Una vez el plan está creado, se procede a la **EJECUCIÓN DEL PLAN** final, teniendo siempre muy en cuenta el **REGISTRO DE LA INTERVENCIÓN** sobre el bien protegido para futuras consultas.



# 5 ESTUDIO DE CASOS



# ESTUDIO DE CASOS

Se considera que el patrimonio cultural del s.xx es vulnerable debido al acelerado ritmo con el que se construyó la sociedad de la información y el consumo, esto es, la compleja valoración de un patrimonio tan reciente ante la falta de perspectiva temporal. Además, la normativa acerca de la protección de dicho patrimonio se presenta todavía débil.

En cuanto a su conservación también se le considera frágil debido a la diversidad de técnicas y materiales innovadores o de reciente aplicación de los que hace gala. No es lo único, pues aún persiste la falta de acuerdo tanto en criterios como en técnicas de intervención se refiere, así como el constante desconocimiento social de su verdadero valor patrimonial.

Es por todo ello que los bienes culturales del s.xx están expuestos a riesgos como es el abandono o destrucción de los mismos, a la incorporación de modificaciones irreversibles o la aparición de falsos históricos.

Gracias al Plan Nacional mencionado en la introducción del trabajo, se establecieron criterios para la conservación e intervención de estos bienes protegidos. Para ello, se estableció que se buscaría una **mínima intervención** (buscando siempre restaurar antes que sustituir), la **reversibilidad** de las intervenciones, la necesidad de una **documentación** previa, **rigor** para evitar falsos históricos en cuanto a la interpretación de la historia se refiere, **discernibilidad** de las intervenciones (notoriedad visual de la preexistencia y la intervención), **compatibilidad** de los materiales y técnicas empleados (buscando la sostenibilidad) y por último, la **documentación** de cada una de las intervenciones ejecutadas.

A través del estudio de tres bienes protegidos, dos de la Comunidad de Madrid y uno de Cádiz, se buscará entender el modo en el que se actuó en ellas.

## /// HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA

// Ficha

// Intervenciones

## /// MERCADO DE ABASTOS

// Ficha

// Intervenciones

## /// TORRES BLANCAS

// Ficha

// Intervenciones

## /// CATÁLOGO



Fig. 5.1. Detalle de la construcción del Hipódromo de la Zarzuela.



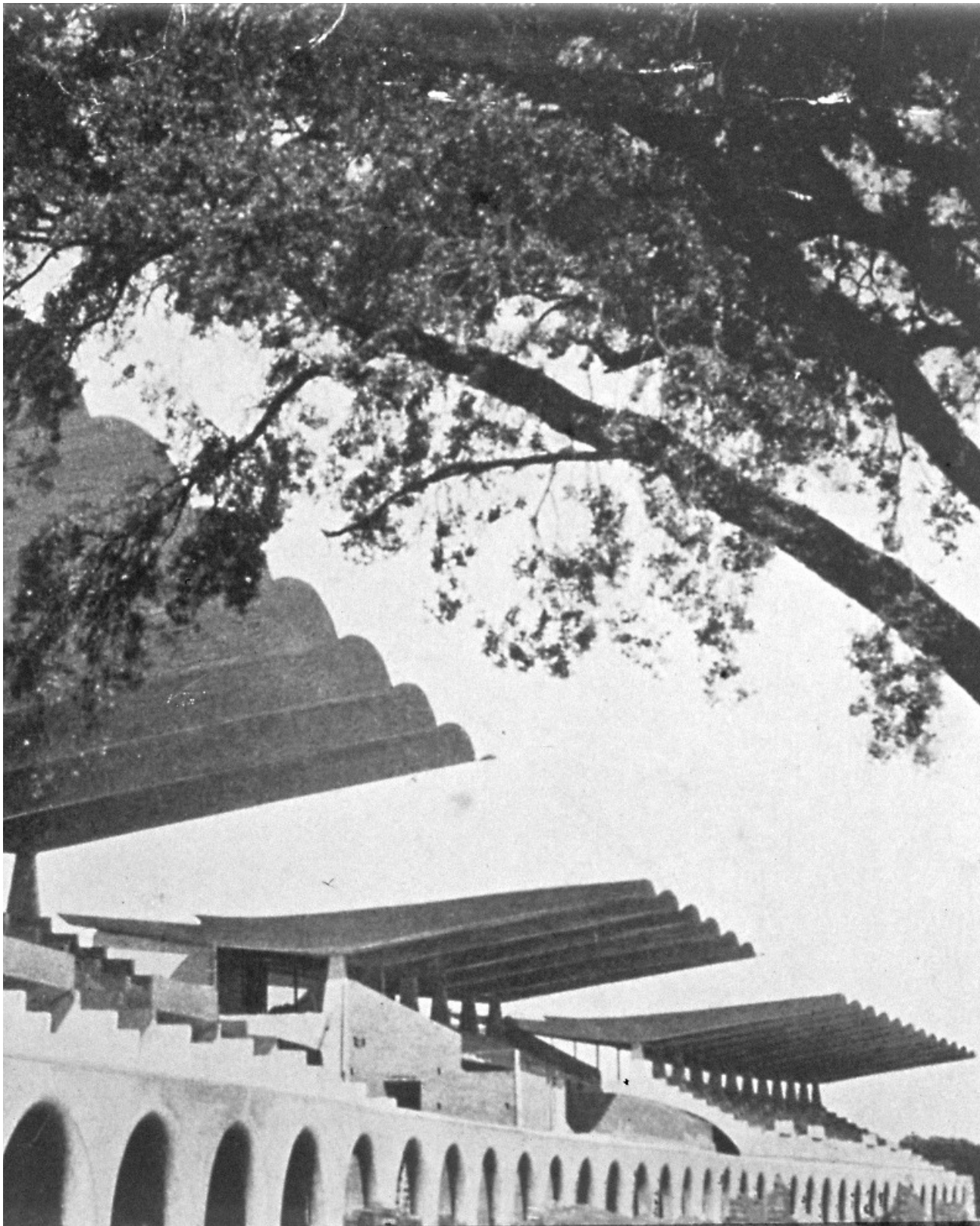


Fig. 5.2. Imagen final de la construcción de las Tribunas del Hipódromo de la Zarzuela.

# HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA



Nombre del edificio: Hipódromo de la Zarzuela  
Variante o nombre original: Hipódromo de la Zarzuela  
Dirección: Av Padre Huidobro 32, Crta de la Coruña, p.k. 8 (Madrid). España.  
Fechas de la realización del proyecto: 1934-1935  
Fechas de construcción: 1935-1941  
Autores del proyecto: Carlos Arniches Moltó, Martín Domínguez Esteban y Eduardo Torroja Miret.

Uso actual: deportivo  
Uso original: deportivo

Organismo responsable de su protección: Comunidad de Madrid  
Grado de protección: Bien de Interés cultural (BIC) con la categoría de Monumento. (BOE de 04/11/2009)



// Intervenciones

En 1934 se realizó un concurso para el nuevo Hipódromo de Madrid, ubicado en el Monte del Pardo. Este lo ganó el equipo conformado por Carlos Arniches, Martín Domínguez y Eduardo Torroja. Un año después, en 1935 se iniciaron las obras de construcción del Recinto de Carreras y cuadras en la villa sur. Sin embargo, estas quedaron paralizadas al inicio de la Guerra Civil. Solamente las estructuras de hormigón de las tribunas, y las arquerías de pelouse y paddock quedaron conformadas. En 1940, una vez la guerra llegó a su fin, se retomaron las obras para poder celebrar las carreras. Esto dio paso para que en 1941 se inaugurase el hipódromo con instalaciones de carácter mínimo, unas que continuarían desarrollándose a lo largo del tiempo. El Recinto de Carreras del Hipódromo de la Zarzuela es una de las obras de arquitectura española del primer tercio del siglo XX más excepcionales. Se considera que la estructura de las tribunas con las marquesinas es uno de los grandes logros del siglo a nivel mundial. En el año 2009 el Ministerio de Cultura declaró el Recinto de Carreras Bien de Interés Cultural con categoría de Monumento.

En el año 2004, Junquera Arquitectos ganó el Concurso para la Restauración y Rehabilitación del Recinto de Carreras del Hipódromo de la Zarzuela, convocado por la sociedad Hipódromo de la Zarzuela S.A. Comenzaron las obras en el año 2008, con la restauración de las marquesinas de las Tribunas ya que estas habían sufrido deterioro por el paso del tiempo, y habían sido dañadas por el agua y diversas construcciones realizadas en etapas anteriores. El principal motivo fue por la insuficiente impermeabilización de las cubiertas (ya que cuando se inauguró el complejo, el presupuesto fue ajustado y la impermeabilización fue deficiente) y su posterior perforación descuidada para colocar luminarias. Tampoco fue buena su conservación ni su mantenimiento a lo largo del tiempo. La carga para la que fue calculada el graderío también se vio afectada, por lo que fue a atajarse. En el mismo momento en el que se restauraban las marquesinas, se fueron ejecutando en el recinto obras de prospección constructiva. Estas eran obras de investigación para poder descubrir y analizar los valores y sistemas constructivos originales, los cuales habían sido desvirtuados y perdidos debido a ampliaciones. Tras esas obras de investigación, aparecieron daños estructurales importantes que exigieron obras de consolidación y reparación de la estructura. Una vez finalizadas las obras de reparación estructural, comenzó la restauración y rehabilitación del conjunto arquitectónico, cuyo objetivo no era otro que el de recuperar los valores esenciales del proyecto de 1934 de Arniches, Domínguez y Torroja.



Fig. 5.3. Imagen de cubierta de las Tribunas del Hipódromo de la Zarzuela.

Fig. 5.4. Imagen de ensayo de carga de las Tribunas del Hipódromo de la Zarzuela.



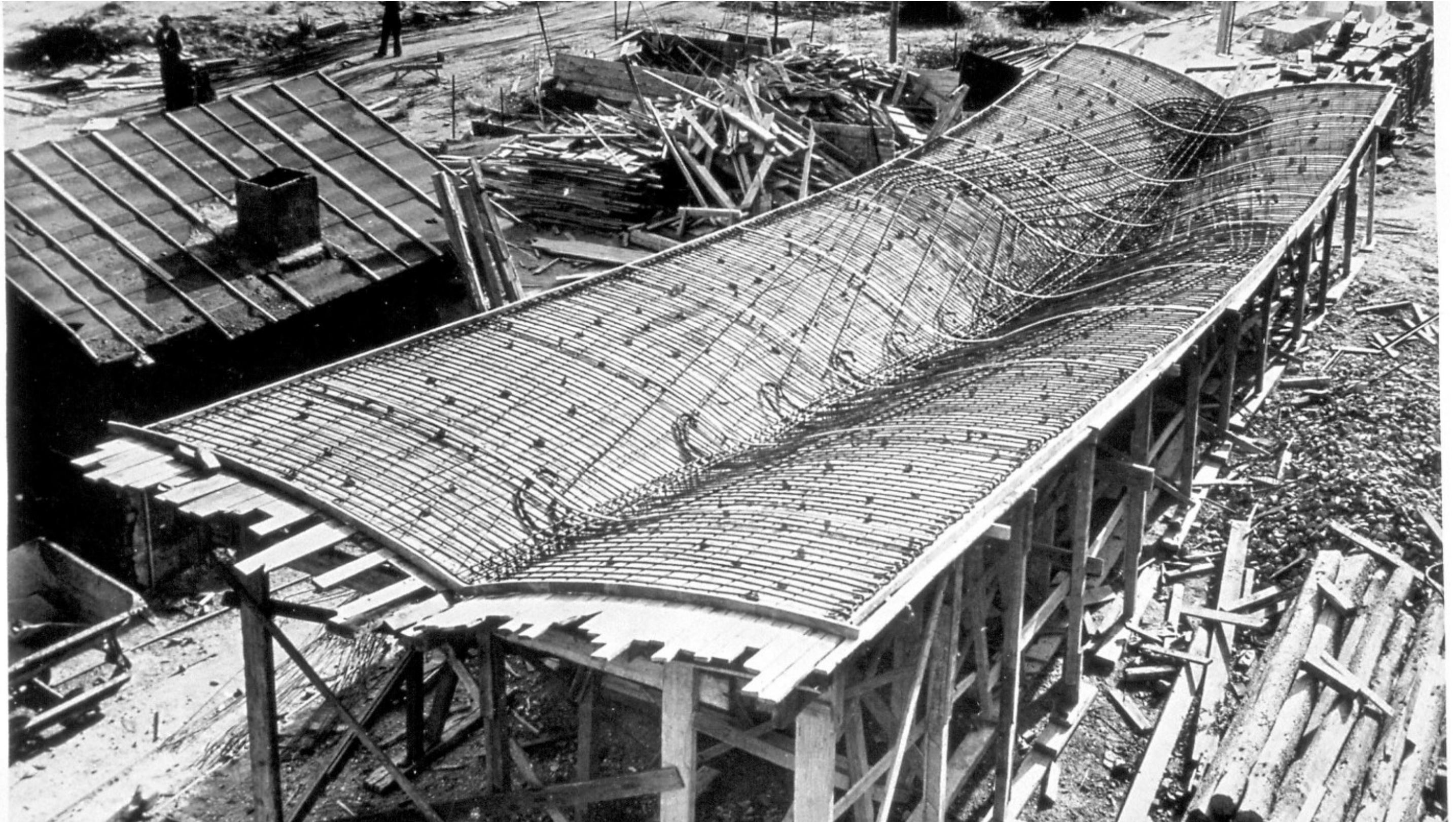


Fig. 5.5. Detalle de la armadura original de las cubiertas de la tribuna del Hipódromo de la Zarzuela.



La actuación que se acometió consistió en la reparación de las cubiertas. Fueron abarcadas tanto en la parte superior como en la inferior de las mismas.

*Las cubiertas son láminas de hormigón armado con la forma de un hiperboloide de espesor variable entre 65 cm en la zona de pilares y 6 cm en los bordes. El esquema de la estructura es muy simple: cada módulo, que tiene sección en V con bordes curvos, y un ancho de 5,0 m está apoyado en un único pilar y vuela sobre la cubierta del orden de 13 m; y se sujeta en su parte trasera mediante tirantes pasivos de acero.*<sup>4</sup>

Las actuaciones que se acometieron desde su construcción en las cubiertas, desde el punto de vista de su mantenimiento, han sido bastante escasas, por lo que la actuación que realizó el estudio Junquera Arquitectos se considera la de mayor envergadura y más ambiciosa.

Primeramente se realizó una visita al Hipódromo para comprobar así el estado de las cubiertas (inspección). En la parte inferior de las mismas se habían tapado humedades y otros problemas con capas de pintura, mientras que en la parte superior se conservaba todavía la impermeabilización original (meteorizada por efecto del sol junto con algo de vegetación). Los sumideros estaban así mismo obstruidos, lo que provocó acumulación de agua que se traspasó a la parte inferior de la cubierta y originó las humedades. La cubierta de la Tribuna Central además había sido perforada para la instalación de la salida de una chimenea con las consecuentes perforaciones de luminarias anteriormente acometidas.

Posteriormente se procedió al cálculo de la estructura de las cubiertas para garantizar su seguridad, recreando un modelo 3D para ello y verificando así la fiabilidad de la estructura. Se podía poner en uso sin ninguna actuación previa.

Para las actuaciones en cubierta se dispusieron dos puntos sensores para medir la velocidad de corrosión, diferencia de potencial y un sensor de agua líquida para asegurar el correcto funcionamiento de la impermeabilización. Buscando conocer el estado real de la estructura, se procedió a eliminar toda la pintura inferior y la impermeabilización.

En el área superior se eliminó la impermeabilización preexistente por ser deficiente y estar ya en un avanzado estado de deterioro, así como la inyección en las fisuras existentes y la posterior colocación de una lámina de poliuretano como nueva impermeabilización.

En el área inferior se procedió a eliminar la pintura que existía ( mediante agua a presión a 700 bares, una que pudiera eliminar la pintura eficientemente pero a su vez, no alterase al hormigón) y se saneó el hormigón mediante inyecciones, rellenando las coqueras y desprendimientos de hormigón. Se cepillaron aquellas armaduras que quedaron vistas con un cepillo metálico para eliminar el óxido.

<sup>4</sup>. Cita extraída de : Junquera García del Diestro, Jerónimo ; Fernández Troyano, Leonardo ; Santana Domínguez, Clara ; ET.AL. (2008). *Rehabilitación de las cubiertas del Hipódromo de la Zarzuela en Madrid*. Madrid: Junquera Arquitectos.

Después se reconstruyeron y se pintó nuevamente la lámina, empleando para ello una pintura anticarbonatación.

Las actuaciones tanto superior como inferior se realizaron simultáneamente con el objetivo de comprobar qué fisuraciones podían estar conectadas entre sí y controlar de ese modo la cantidad de resina empleada para el proceso de inyección. El proceso que siguió fue el siguiente: primero, abrir las fisuras mediante radial, segundo, introducir cánulas por las que después se aplicaría la resina, tercero, sellar con masilla la fisura abierta para que no se saliese la resina, cuarto, inyectar la resina y quinto, tapar con mortero de reparación.

Uno de los puntos de este proyecto de intervención fue la reproducción de las tablillas del encofrado que se empleó para la construcción de las cubiertas en el mortero que se dispuso para tapar las fisuraciones ya reparadas.



Fig. 5.6. Imagen del estado de las cubiertas durante la ejecución de la impermeabilización de poliuretano del Hipódromo de la Zarzuela.



Fig. 5.7. Imagen del interior del mercado de abastos, con especial detalle al lucernacio de la cubierta.

# MERCADO DE ABASTOS



Nombre del edificio: Mercado de abastos.  
Variante o nombre original: Mercado de abastos.  
Dirección: Plaza de Nuestra Señora de la Palma, Algeciras (Cádiz). España.  
Fechas de la realización del proyecto: 1933  
Fechas de construcción: 1934-35  
Autores del proyecto: Manuel Sánchez Arcas, Eduardo Torroja Miret.

Uso actual: Mercado de abastos.  
Uso original: Mercado de abastos.

Organismo responsable de su protección:  
(1) Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía  
(2) Ayuntamiento de Algeciras  
Grado de protección:  
(1) Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz. Catalogación Genérica  
(2) Bien de Interés Cultural - Catálogo del PGOU de Algeciras



## // Intervenciones

Se trata de un proyecto en el que, sobre la cuadrada planta de una plaza, se planteó un octógono regular de 18.20 m de lado. Quedó así inscrito en las cuatro calles que urbanísticamente, delimitaban su contorno. Este octógono no era nada más ni nada menos que una imponente cubierta de hormigón armado, una cáscara, que cubriera la instalación de un mercado de carácter temporal.

En marzo del año 2015, el Ayuntamiento de Jerez desde el departamento de arquitectura, propuso un proyecto de actuaciones de conservación y mantenimiento en el Mercado Central de Abastos debido a las evidentes necesidades que este bien protegido ya reclamaba. Entre estas actuaciones destacó:

- La colocación de un nuevo pavimento continuo tras el levantado de las baldosas de terrazo.
- La sustitución del antiguo saneamiento por uno nuevo.
- La colocación de nuevas bajantes para la cubierta (manteniendo las acometidas existentes).
- Reparaciones en cubiertas secundarias.
- Restauración de las carpinterías de madera (y sustitución solo de las piezas en mal estado).
- Ejecución de revestimientos de chapas de acero galvanizado en fachada de acceso al compactador con pintura al esmalte sintético.
- Limpieza con chorro de agua de la fachada de piedra arenisca y otras superficies de naturaleza cerámica (limpieza del paramento, aplicación de jabón neutro y proyección de agua o bien empleo de cepillo de cerdas para así eliminar posibles residuos como polvo o eflorescencias).
- Impermeabilización e hidrofugación de la fachada por tratamiento superficial.
- Aplicación de productos herbicidas.
- Reconstrucción de piedra arenisca en zonas afectadas con inserciones de la misma piedra a base de fijarlas con mortero de cal y varillas de acero inoxidable ancladas con resinas epoxídicas.

Las mencionadas actuaciones se irían acometiendo en distintas fases según lo previsto por el proyecto.



Fig. 5.8. Imagen de la cubierta del mercado de abastos, con especial detalle al lucernario de la cubierta.





Fig. 5.9. Imagen de la cubierta exterior del Mercado de Abastos de Algier.





Fig. 5.10. Imagen del edificio Torres Blancas

# TORRES

# BLANCAS

Nombre del edificio: Edificio Torres Blancas  
Variante o nombre original: Edificio Torres Blancas  
Dirección: Avenida de América 37, c/v c Corazón de María 2 c/v, c Padre Xifré (Madrid) España.  
Fechas de la realización del proyecto: 1961-1964  
Fechas de construcción: 1964-1968  
Autores del proyecto: Francisco Javier Sáenz de Oíza, Juan Daniel Fullaondo y Errazu, José Rafael Moneo & Carlos Fernández Casado, Javier Manterola Armisen .  
  
Uso actual: Residencial y oficinas en planta baja.  
Uso original: Residencial y oficinas en planta baja y restaurante en la planta alta.  
  
Organismo responsable de su protección: Ayuntamiento de Madrid  
Grado de protección: Nivel de protección: 1; Grado de protección: singular



## // Intervenciones

Se trata de una torre de 24 plantas, obra de Sáen de Oíza bajo el mecenazgo de Juan Huarte y en colaboración con Carlos Fernández Casado y Javier Manterola, estos dos últimos ingenieros.

Es un bloque de viviendas (dúplex, de una sola planta y apartamentos) que convive con una planta en la que se ubicaba un antiguo restaurante (hoy en día oficina) y otra con una piscina al descubierto. Aunque se llamó “Torres Blancas” en realidad toda la fachada es de hormigón, siendo la escalera principal la única que se revistió de mármol blanco como se tenía previsto. En cuanto a la fachada, el hormigón que se empleó pretendía mezclarse con polvo de mármol, uno que se creía le daría un color más puro. Finalmente no se acometió.

Al tratarse en su mayoría de propiedades privadas, no hay demasiado registro acerca de las intervenciones que se hubieron podido realizar en el edificio. La única información que consta es que, aunque se quiso revestir de pintura blanca toda la fachada (de las cuales aún se conservan las pruebas de color), finalmente se optó por una limpieza a base de cepillo y chorro de arena.

Las instalaciones se sabe que debido a su antigüedad necesitarían ser ya atendidas, pero respecto al estado general de dicho inmueble, se dice que presenta un buen estado de conservación.



Fig. 5.11. Imagen de cubierta de Torres Blancas.




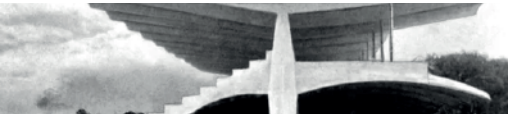

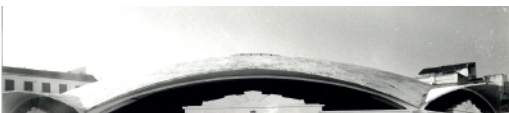


Fig. 5.12. Detalle de la escalera principal de Torres Blancas.



*Fig. 5.13. Imagen de Torres Blancas.*



/// CATÁLOGO

	ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS	PRINCIPALES DAÑOS OBSERVADOS	TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN EMPLEADAS
HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA	Cubierta 	Corrosión de armaduras	Mortero de restitución
		Fisuraciones	Sellado a través de resinas
		Humedades	Eliminación original & sustitución del impermeabilizante & liberación de desagües
		Óxido en las armaduras	Cepillado & reconstrucción
	Pilar central 	Corrosión de armaduras	Mortero de restitución
	Graderío 	Fisuraciones	Sellado a través de resinas
			Sellado a través de resinas & recuperación de cargas originales
MERCADO DE ABASTOS	Cubierta 	Fisuraciones	Sellado a través de resinas (& mejora de la impermeabilización)
	Fachada 	Destrucción de piedra arenisca	Reconstrucción
		Depósitos	Limpieza con chorro de agua
TORRES BLANCAS	Fachada 	Depósitos	Limpieza con cepillo & chorro de arena

## CONCLUSIONES



El protocolo se ha evaluado considerando su posible aplicación a los tres edificios destacados anteriormente dentro del patrimonio arquitectónico construido en hormigón armado.

Tras un previo conocimiento de lo que engloba el patrimonio del movimiento moderno construido en hormigón armado y la vulnerabilidad que sufre frente al resto del patrimonio, es posible comprender el marco circunstancial en el que se enmarca y la importancia frente a una estructura regular de hormigón armado de la que dispone.

El protocolo permite distinguir las distintas patologías mediante una serie de técnicas, bien visuales gracias a un catálogo de daños patológicos en primera instancia o bien mediante ensayos. Se ha apreciado que aquellos de inspección directa (accesible) presentan frecuentemente mayor facilidad a la hora de ejercer las labores de inspección y por ende, de rehabilitación; mientras que los de inspección compleja, aquellos bajo rasante, presentan mayor problemática de diagnóstico ya que la accesibilidad a los mismos es dificultosa.

En función de los daños patológicos observados o testados y según a qué parte de la estructura o el inmueble formen parte, así se procederá a actuar sobre ellos, empleando una técnica de reparación u otra, o varias porque muchas de ellas van ligadas entre sí. Es importante tener en cuenta las ventajas y desventajas de estas para así poder tomar una buena decisión al respecto.

Para comprobar si el protocolo propuesto podría funcionar en los tres edificios elegidos, se generó un catálogo con los elementos más importantes de estos, los principales daños observados, su causa y las técnicas que se emplearon para repararlos.

Se observó que para edificios de un único propietario con buena accesibilidad, como es el caso del Hipódromo de la Zarzuela y el Mercado de Abastos de Algeciras, se pueden ejecutar todas las labores de rehabilitación pertinentes sin impedimento, pudiendo frenar el paso de usuarios temporalmente. Sin embargo, para aquellos edificios de varios propietarios como es el caso de Torres Blancas, se hace más compleja porque los usuarios deben poder seguir accediendo al inmueble durante las pertinentes labores.

Finalmente se observó que muchos de los daños patológicos, si se hubiera tenido un buen mantenimiento de la estructura, se podrían haber evitado. En otros, fue la inconsciencia o el desconocimiento los que provocaron una mala praxis y consecuentemente, daños que no se resolvieron y futuras patologías que se agravaron con el tiempo. No obstante, todos los daños pudieron ser eficientemente tratados y hoy en día los tres edificios cuentan con un buen estado de conservación, por lo que el protocolo propuesto, siguiendo la línea de los propuestos y ejecutados para los mencionados BIC, podría funcionar perfectamente.



Fig. 5.1. Detalle de la construcción del Hipódromo de la Zarzuela.



REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

— Fernández García, Susana. (2016). Tesis Doctoral. Corrosión de armaduras en el hormigón armado en ambiente marino aéreo. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Técnica Superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. [[http://oa.upm.es/39374/1/Susana\\_Fernandez\\_Garcia.pdf](http://oa.upm.es/39374/1/Susana_Fernandez_Garcia.pdf)].

— Rodríguez-García, Fernando. (1998). Rehabilitación de estructuras de hormigón: técnicas y sistemas. RE. Revista de Edificación, 28, 39-47.

— Monjo Carrió, Juan . (2008). Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. Madrid: Munilla-Lería.

— Goidanich, Sarah. (2018). Durability of reinforced concrete structures of XXth century. Milán: Politecnico di Milano.

— Castaños, Enrique. (Octubre 13, 2016). La corrosión de los metales. Julio 6, 2020, de Cienciaon-thecrest. Sitio web: <https://cienciaonthecrest.com/2016/10/13/la-corrosion-de-los-metales/>

— Bertolini, Luca; Bolzoni, Fabio; Elsener, Bernhard; ET.AL. (Febrero 7, 1996). La realcalinización y la extracción electroquímica de los cloruros en las construcciones de hormigón armado . Materiales de construcción, 46, 46-55. Julio 9, 2020, De Materiales de construcción. CSIC Base de datos. [<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/522/570>]

— Antuña Bernardo, Joaquín. (2002). Tesis Doctoral. Las estructuras de edificación de Eduardo Torroja. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

— Bernal González, Juan Fernando. (Marzo, 2015). Proyecto de actuaciones de conservación y mantenimiento en el Mercado Central de Abastos. Cádiz: Ayto. de Jerez.

— Beltrán Rodríguez-Rubio, Natividad ; Gómez Gómez, José Ignacio. (Noviembre 26, 2009 ). Identificación del edificio o grupo de edificios : RRG\_E\_AND\_OCC\_A01. Septiembre, 2020, de DOCOMOMO Ibérico Sitio web: <https://cutt.ly/rfQK2LD>

— Sanz Hernando, Alberto ; Fernández Ferreras, Mónica ; Servicio histórico COAM. (Junio, 2006). Identificación del edificio o grupo de edificios : RRG\_V\_MA\_A49. Septiembre, 2020, de DOCOMOMO Ibérico Sitio web: <https://cutt.ly/CfQK95v>

— Sepúlveda Requena, Mario. (Diciembre, 2017). Patologías en estructuras de hormigón armado, vol.1. Alicante: Mario Sepúlveda Requena.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

— Lasso de la Vega Zamora, Miguel ; Servicio histórico del COAM. (Diciembre, 2009). Identificación del edificio o grupo de edificios : RRG\_E\_MA\_A15. Septiembre, 2020, de DOCOMOMO Ibérico Sitio web: <https://cutt.ly/nfQK31z>

— Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (Enero, febrero de 1962). Mercado de Algeciras. Informes de la Construcción, 14, 137. Septiembre, 2020, De CSIC Base de datos.

— UNE. (Junio, 2016). Realcalinización electroquímica y tratamientos de extracción de cloruros para el hormigón armado.. Septiembre, 2020, de UNE Sitio web: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0056651>

— Sánchez de Rojas Noguera, María José. (2004). Tesis doctoral. Extracción electroquímica de cloruros del hormigón armado: estudio de diferentes variables que influyen en la eficiencia del tratamiento. Alicante: Universidad de Alicante.

— ANFAPA. (Junio, 2015). Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Barcelona: ANFAPA.

— Sanjuán Fernández, Carlos. (-). Carbonatación. Septiembre, 2020, de Patología y rehabilitación en construcción. Sitio web: <https://www.patologiasconstruccion.net/?s=carbonatacion>

—ARPHO. (-). Realcalinizadores del hormigón carbonatado. Julio 16, 2020, de ARPHO Sitio web: <https://cutt.ly/nfQK7YT>

— Cobo Escamilla, Alfonso. (2001). Comprobación de la eficacia de la realcalinización y de la extracción electroquímica de cloruros como métodos de rehabilitación de las estructuras corroídas de hormigón armado. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Técnica Superior de ingenieros de caminos, canales y puertos.

— Porto Quintián, Jesús. (2005). Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado. Julio 18, 2020, de Escola Universitaria de Arquitectura Técnica Universidade da Coruña Sitio web: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn401.html>

— Alonso Alonso, M<sup>a</sup> Cruz ;Sánchez Moreno, Mercedes . (Junio 24, 2010). Dispositivo y procedimiento de uso para la eliminación de agentes agresivos y repasivación de la armadura de un hormigón armado con introducción de inhibidores aniónicos. Madrid: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Julio 18, 2020, de Google Patents. Sitio web: <https://patents.google.com/patent/WO2010070174A1/es>

— López Rodríguez, Fernando ; Rodríguez Rodríguez, Ventura ; Cruz Astorqui, Jaime ; ET.AL. (Septiembre 16, 2016). Manual de Patología de la Edificación. Madrid, Departamento de Tecnología de la Edificación (E.U.A.T.M): Universidad Politécnica de Madrid.

— Suemissindie. (Noviembre 14, 2017). Santuario de Ise, el templo que se reconstruye cada 20 años. Septiembre, 2020, de Diario del viajero Sitio web: <https://cutt.ly/pfmlt2e>

— González González, Ignacio. (Junio 19, 2013). Ley 3/2013, de 18 de junio, de Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid.. Septiembre, 2020, de BOE Sitio web: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-10725-consolidado.pdf>

— Estrada Martínez, César ; Rodríguez de la Borbolla y Camoyán, José. (Mayo 5, 1986). Ley 4/1986, de 5 de mayo, del Patrimonio de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Septiembre, 2020, de BOE Sitio web: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1986/BOE-A-1986-12725-consolidado.pdf>

— A. Kadluczka, G. Cristinelli ; M. Zádor. (2000). Carta de Cracovia. Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido. Cracovia: Conferencia Internacional sobre Conservación.

— Gazzola, Piero ; Lemaire, Raymond ; Bassegoda-Nonell, José ; ET.AL. (1964). Carta Internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (Carta de Venecia 1964). Venecia: ICOMOS.

— Carrión Gútez, Alejandro. (2015). Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en Patrimonio Cultural. Ministerio de educación, cultura y deporte: Subdirección General de Documentación y Publicaciones.

— Carrión Gútez, Alejandro. (2015). Plan Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del Siglo xx. Ministerio de educación, cultura y deporte: Subdirección General de Documentación y Publicaciones.

— Carrión Gútez, Alejandro. (2015). Anexo 2. Convenciones, acuerdos y cartas internacionales. Ministerio de educación, cultura y deporte: Subdirección General de Documentación y Publicaciones.

— Kurioso. (2009). Torres Blancas Hoy. Septiembre, 2020, de Kurioso Sitio web: <https://kurioso.es/2008/05/21/torresblancas-hoy/>

— Niño, Alex. (Mayo 2, 1999). Ni torres ni blancas. Septiembre, 2020, de El País Sitio web: [https://el-pais.com/diario/1999/05/02/madrid/925644264\\_850215.html](https://el-pais.com/diario/1999/05/02/madrid/925644264_850215.html)

— Junquera García del Diestro, Jerónimo ; Fernández Troyano, Leonardo ; Santana Domínguez, Clara ; ET.AL. (2008). Rehabilitación de las cubiertas del Hipódromo de la Zarzuela en Madrid. Madrid: Junquera Arquitectos.

— Alaejos, Pilar ; Bermúdez, Miguel Ángel. (-). Metodología para el estudio del hormigón ocasionado por la reacción álcali-sílice. Madrid: Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD).

— Pérez Valcárcel, Juan. (-). Inspección y validación de cimentaciones. La Coruña: E.T.S.A de la Coruña.

— Gobierno de España, Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. (2019). DB-SE-C. España: Gobierno de España.

— Pleiades Ingeniería i Consultoria, S.L. . (2018). Estudios geotécnicos: Qué son, para que sirven, y cuando son necesarios. Septiembre, 2020, de Pleiades Ingeniería i Consultoria, S.L. Sitio web: <https://cutt.ly/vfO021h>



RECURSOS DIGITALES

— Portada y contraportada de elaboración propia a partir de originales tomados de (textura hormigón: <https://cutt.ly/tfml16n> ) , (imagen Hipódromo: <https://cutt.ly/PfmlxJA> ) , (imagen Torres Blancas: <https://cutt.ly/UfmlG3c> ) , (imagen Instituto Torroja: <https://cutt.ly/ifEWKn7> ) , (imagen Mercado de Abastos: <https://cutt.ly/yfEUbx6> ).

— *Fig. 0.0.* Tomada de <https://cutt.ly/jfmlOzV>

— *Fig. 0.1.* Tomado del archivo del Ministerio de Fomento de España

— *Fig. 1.1 — 1.26.* Tomada de Porto Quintián, Jesús. (2005). Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado. Julio 18, 2020, de Escola Universitaria de Arquitectura Técnica Universidade da Coruña.

— *Fig. 1.27.* Tomada de López Rodríguez, Fernando ; Rodríguez Rodríguez, Ventura ; Cruz Astorqui, Jaime ; ET.AL. (Septiembre 16, 2016). Manual de Patología de la Edificación. Madrid, Departamento de Tecnología de la Edificación (E.U.A.T.M): Universidad Politécnica de Madrid.

— *Fig. 1.28.* Tomada de López Rodríguez, Fernando ; Rodríguez Rodríguez, Ventura ; Cruz Astorqui, Jaime ; ET.AL. (Septiembre 16, 2016). Manual de Patología de la Edificación. Madrid, Departamento de Tecnología de la Edificación (E.U.A.T.M): Universidad Politécnica de Madrid.

— *Fig. 1.29.* Tomada de <https://cutt.ly/Nfml7d6>

— *Fig. 1.30. — 1.42.* Tomada de Porto Quintián, Jesús. (2005). Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado. Julio 18, 2020, de Escola Universitaria de Arquitectura Técnica Universidade da Coruña.

— *Fig. 1.43.* Tomada de “Más que Ingeniería”, de <https://cutt.ly/Pf1go0g>

— *Fig. 1.44.* Tomada de Alaejos, Pilar ; Bermúdez, Miguel Ángel. (-). Metodología para el estudio del hormigón ocasionado por la reacción álcali-sílice. Madrid: Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD).

— *Fig. 1.45.* Elaboración propia a partir de un original tomado de <https://cutt.ly/Tf1jxbd>

— *Fig. 1.46.* Tomado de <https://cutt.ly/hf1jvy6>

— *Fig.2.1.* Tomado del archivo del Ministerio de Fomento de España de <https://cutt.ly/DfEWu CZ>

— *Fig.3.1.* Tomado de: <https://cutt.ly/Ff1LJdn>

— *Fig.3.2.* Tomado de: <https://cutt.ly/pf1Xq0j>

— *Fig.3.3.* Elaboración propia a partir de información de Monjo Carrió, Juan . (2008). Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. Madrid: Munilla-Lería.

— *Fig.3.4.* Tomado de: <https://cutt.ly/4f13FFL>

— *Fig.3.5.* Tomado de: <https://cutt.ly/8f13D39>

— *Fig.5.1. - 5.5.* Tomado del archivo del Ministerio de Fomento de España de <https://cutt.ly/D-fEWu CZ>

— *Fig.5.6.* Tomado del proyecto de rehabilitación de las cubiertas del Hipódromo de la Zarzuela en Madrid (Junquera Arquitectos).

— *Fig.5.7.* Tomado del archivo del DOCOMOMO de <https://cutt.ly/0fmlK3Y>

— *Fig.5.8.* Tomado del archivo del DOCOMOMO de <https://cutt.ly/kfRBnJS>

— *Fig.5.9.* Tomado del archivo del Ministerio de Fomento de España de <https://cutt.ly/yfOiH5>

— *Fig.5.10.* Tomado del archivo del COAM de <https://cutt.ly/UfmlG3c>

— *Fig.5.11.* Fotografía tomada de <https://cutt.ly/yfOiHjz>

— *Fig.5.12.* Fotografía tomada por Kurioso de <https://cutt.ly/UfRCo9z>

— *Fig.5.13.* Fotografía tomada de <https://cutt.ly/ZfOiKC3>

